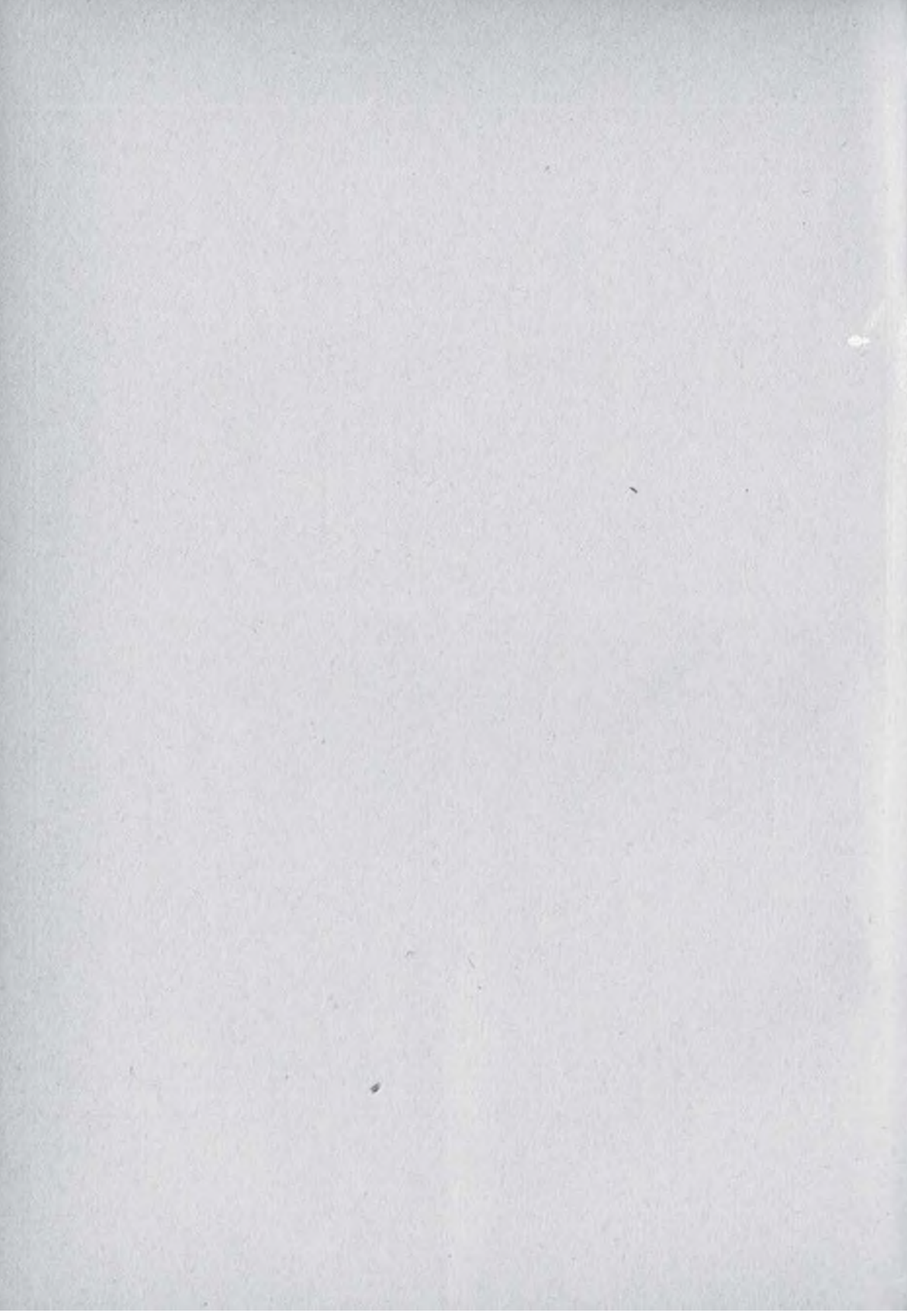


RIVISTA MILITARE



FASCICOLO TECNICO
GENIO

MINISTERO DELLA DIFESA-ESERCITO
DIREZIONE E AMMINISTRAZIONE: ROMA, VIA DI S. MARCO 8



ANNO VII

NOVEMBRE 1951

RIVISTA MILITARE

FASCICOLO TECNICO

G E N I O

R O M A

VIA DI S. MARCO, 8

Proprietà letteraria e artistica riservata

Direttore responsabile: Colonnello SIRO BERNARÒ

Arti Grafiche « S. Barbara » di Ugo PINNARÒ - Via Pompeo Magno, 29 - Roma

S O M M A R I O

	<i>Pagina</i>
Gen. di div. FRANCESCO VERDOJA: Costruzioni di carattere semi-provisorio normalizzato con l'impiego di funi metalliche e strutture tubolari	5
Gen. di brig. PAOLO SUPINO: Localizzazione di sorgenti sonore aeree mobili mediante la variazione di frequenza per l'effetto Doppler	3 33
Magg. del genio GIORGIO PELLI: Le comunicazioni multiple .	66
Ten. del genio GIULIO MALVANI: Recenti progressi nel campo delle costruzioni stradali	78

COSTRUZIONI DI CARATTERE SEMIPROVVISORIO NORMALIZZATO CON L'IMPIEGO DI FUNI METALLICHE E STRUTTURE TUBOLARI

Gen. di div. Francesco Verdoja

I. — PREMESSA

Una nota Ditta inglese, costruttrice di carpenterie metalliche e di strutture prefabbricate metalliche e miste, ha lanciato recentemente una novità: la costruzione di tettoie metalliche nelle quali il tetto è sostenuto da funi metalliche ancorate al terreno e sollevate in mezzaria da una colonna tubolare.

Il materiale ed i particolari della struttura di copertura sono brevettati e la Ditta espone i vantaggi della tettoia: vantaggi reali, consistenti nel risparmio al 95 % in peso rispetto alle normali coperture metalliche e nel 60 % della spesa.

La cosa richiamò la nostra attenzione: chi scrive aveva già eseguito una costruzione provvisoria di tipo simile nelle Alpi Cozie in occasione di lavori stradali militari, circa 25 anni fa, con lo scopo di utilizzare per tettoia quadrupedi un certo quantitativo di funi metalliche traenti di teleferica fuori uso.

Ma l'esame del costo della costruzione offerta dalla Ditta inglese, malgrado il risparmio in peso, e trattandosi di materiali brevettati provenienti dall'estero, soggetti a dogana, fu negativo agli effetti della convenienza di acquisto.

Quanto precede fece soffermare l'attenzione di chi scrive sull'uso delle funi metalliche nei vari campi dell'industria, lo fece pensare ai principali impieghi che esse hanno avuto ed hanno tuttora nel campo dei trasporti pensili — dalla funivia del Monte Bianco... alla progettata linea elettrica attraverso lo stretto di Messina... alle seggiovie... agli ascensori... ai ponti sospesi ecc. ed alla fine emerse naturalmente questo interrogativo: perchè le costruzioni civili non si sono mai orientate verso l'impiego di questo materiale che pure offre tante possibilità?

Può darsi che lo scrivente sbagli, ma egli crede che ciò sia dovuto un po' a diffidenza generale, molto alla poca conoscenza, nel comune costruttore

edile, della possibilità delle funi, molto ancora perchè nei comuni testi di particolari costruttivi ed architettonici non si accenna mai a costruzioni su funi, un po' alla riluttanza nostra nell'accettare una linea curva al posto di quella che in certi particolari di fabbrica è sempre stata retta, ed infine dal fatto che la fune è ingiustamente ritenuta elemento facilmente deteriorabile.

Di tutti i fattori suddetti forse quello principale è la diffidenza; diffidenza portata dalla visione dell'esilità della fune rispetto al carico e dal fatto di avere sopra il nostro capo un tetto che sotto il carico si muove.

Evidentemente, pochi di noi accetterebbero di costruire una casa con un tetto le cui falde ondeggiano quando tira forte vento o che si incurva « paurosamente » sotto il carico della neve. In questo caso a ben poco può servire presso i familiari la parola rassicurante del tecnico... eppoi è sempre presente in questi casi il tecnico?

E' quindi necessario che le funi e le loro possibilità siano più conosciute, dico anzi siano *conosciute* perchè non lo sono affatto nel campo delle costruzioni.

Che la strada per farle conoscere sia lunga lo dimostra il tempo notevole che è stato necessario per indurre il pubblico ad usare le funicolari, gli ascensori e le funivie: oltre 80 anni. E dire che qui vi era un fattore molto importante a favore: quello di risparmiare la fatica di salire.

Nei ponti le cose andarono diversamente: dopo un primo brillante inizio dovuto all'opera di vari studiosi, l'aumento progressivo dei carichi, l'avvento del cemento armato ed altre cause che non si applicano al nostro caso, fecero ridurre grandemente l'impiego delle funi in questi manufatti. Tuttavia anche oggi per le grandissime campate si ricorre alla costruzione pensile e il cittadino americano che attraversa certi ponti del suo Paese non pensa certamente che nei momenti di maggiore traffico la stabilità di questi ponti non è molto superiore a quella di una funivia.

Noi ci auguriamo che queste note possano richiamare l'attenzione sull'impiego delle funi metalliche nelle costruzioni civili, almeno, ...per ora, per manufatti aventi carattere non definitivo.

Come si vedrà, le funi offrono reali vantaggi in molti casi, specialmente nell'impiego militare.



Quale tecnico ed amministratore militare, chi scrive ha sempre pensato che la tecnica deve essere in molti casi al servizio dell'Amministrazione: tutti i provvedimenti tecnici debbono sempre essere orientati ad ottenere il massimo rendimento delle somme che tanto faticosamente il Paese pone a disposizione della Difesa.

Questo concetto non differisce affatto da quello imperante nell'industria.

L'esame della convenienza di impiego delle funi nelle costruzioni militari (che hanno poi stretti contatti con quelle civili) è stato rivolto massimamente all'esame delle convenienze economiche.

Nello studio che abbiamo eseguito e di cui riportiamo, in definitiva, la sintesi, abbiamo cercato anzitutto di verificare eppoi di dimostrare la possibilità tecnica di impiego. Nello stesso tempo abbiamo orientato questo studio verso la ricerca dei requisiti economici e pratici cui dovrebbero soddisfare le costruzioni escogitate per essere di reale vantaggio.

L'utilizzazione di queste strutture potrà in seguito formare oggetto, in altra sede, di accurata analisi: noi daremo solo qualche accenno.

I requisiti di carattere economico-pratico sono i seguenti:

— adottare pochissimi materiali semplici di minimo ingombro e di facile trasporto, che possano trovarsi facilmente e copiosamente nel commercio comune; impiegarli in modo da non guastarli onde permettere il loro ripetuto, efficiente e facile reimpiego nonchè la massima utilizzazione in caso di alienazione. — Verificare e prevedere per questi materiali (studiandone il maggior numero possibile di combinazioni) l'impiego nei vari tipi di costruzione.

Requisiti questi che noi militari abbiamo sempre cercato invano, ad esempio, nelle comuni baracche smontabili. Di queste ben conosciamo il costo relativamente alto, il limitato reimpiego ed il massimo ingombro nei casi di trasporto e di immagazzinamento.

Si noti che fra i requisiti *non* è citato il basso costo singolo dei materiali: se questo si ottiene, tanto meglio, però esso è già insito nella reimpiegabilità del materiale e nella conservazione costante di quasi tutto il suo valore iniziale.

Solo su queste premesse ho ritenuto che il problema potesse meritare nel ramo militare seria considerazione.

E' evidente che il soddisfacimento di questi requisiti, circoscrivendo le possibilità tecniche, non può più portare a tutti i vantaggi forniti dalla costruzione inglese. In complesso se ne hanno altri forse molto più importanti.

II. — TIPO GENERALE DELLA COSTRUZIONE PENSILE

E' stato già accennato. Si tratta in sintesi, nel tipo più semplice, della costruzione schematicamente indicata nella figura 1, e cioè una serie di funi che sostengono o per appoggio, o per ammassaggio, una copertura di materiale non pesante. Le funi formano una cuspide sopra una serie di ritti centrali e vanno ad ancorarsi al terreno sui fianchi, sorrette, ad altezza

opportuna (e cioè di poco superiore a quella di un uomo) da ritti laterali che raccorcano le campate e formano i fianchi della struttura.

Le testate, completamente accessibili (il che non è per i fianchi a causa degli ancoraggi), sono libere al traffico.

Tanto i fianchi quanto le testate possono essere chiusi con strutture a piacere e presentano le aperture di porta e finestre più opportune in relazione all'utilizzazione del manufatto.

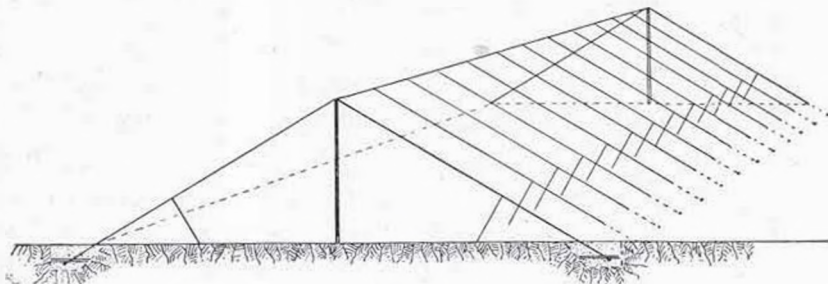


Fig. 1.

L'esistenza della serie di ritti centrali a distanza più o meno ravvicinata definisce il tipo classico della costruzione, ma è possibile, integrando la struttura pensile con un tipo di incavallatura leggera, giungere anche alla costruzione formata da navata centrale, coperta da capriata, con navate laterali su funi.

L'impiego più opportuno ed economico di queste strutture è nelle grandi campate, quelle nelle quali ora generalmente si ricorre ad incavallature metalliche.

Si possono agevolmente sorpassare i 15 metri di luce ed è anzi per queste campate che le strutture si presentano più economiche rispetto alle altre del tipo metallico o in cemento armato.

Ma la parte più interessante di queste costruzioni è che, in aderenza ai requisiti dianzi accennati, esse possono realizzarsi con l'uso di solo tre materiali principali i quali non vengono tagliati nè bucati nè inchiodati, e cioè: funi metalliche, tuberie da ponteggio, lamiere ondulate. Completano la struttura alcuni tipi semplici di morsetti staffe, calastrelli, che permettono l'appoggio, sospensione o fissaggio del materiale di copertura nonchè, eventualmente, un minimo quantitativo di legname in listelli.

Il modo di stendimento delle fune, il tipo di struttura tubolare escogitato pei ritti d'appoggio, il sistema d'attacco delle lamiere, fanno sì che tutto il materiale può essere recuperato senza danni o quasi, in caso di smontaggi e tenuto pronto per il reimpiego altrove.

III. — ALCUNI RIFERIMENTI STATICI E PROCEDIMENTI SEMPLICI PER IL PROGETTO ED IL CALCOLO

Non è possibile tranquillizzare la massa del pubblico su questo tipo di costruzioni, senza dare qualche riferimento statico che permetta, anche ad un non tecnico, di comprendere la sicura stabilità di esse.

Tutta la costruzione pensile (essenzialmente il tetto) è sopportata dalle funi che si ancorano al terreno e che premono sui ritti centrali e laterali: questi a loro volta scaricano il peso sul terreno.

Le funi devono pertanto sostenere il peso del materiale di copertura e quello dei carichi accidentali (vento, neve, ecc.).

Ritti ed ancoraggi sono elementi subordinati al lavoro delle funi e alle tensioni che i carichi suddetti (peso proprio, vento, neve) generano nelle funi stesse. E' perciò importante stabilire anzitutto, in relazione alla posizione geografica del manufatto, l'entità dei carichi e l'inclinazione da darsi alla falda del tetto e cioè alle funi.

Questa determinazione iniziale ha molta importanza perchè influisce sull'entità del carico da sopportarsi dai ritti e sulla tensione che debbono assorbire gli ancoraggi, nonchè nella determinazione dell'intervallo fra le varie funi.

L'inclinazione della falda, che col suo crescere porta ad un forte aumento del carico dovuto al vento, non può scendere oltre un certo limite perchè si correrebbe il rischio di non poter scolare l'acqua dalle coperture in caso di pioggia mista a vento.

Una volta stabilita l'entità del carico ripartito che grava sulla fune, *normalmente ad essa*, si determina, in relazione alla campata che si desidera, il tipo di fune da impiegare, oppure, se si ha già una fune disponibile, si stabilisce l'intervallo tra le funi di sostegno. Successivamente si determina l'entità dei ritti e degli ancoraggi.

1) FUNE METALLICA.

Deve essere del tipo flessibile o almeno è bene sia del tipo flessibile essenzialmente per poter evitare il taglio.

La fune del tipo rigido va benissimo, però va tagliata: per questo solo motivo conviene meno.

Le funi metalliche sono costruite in ottimo acciaio la cui resistenza media può ritenersi di 140-150 Kg. al mm² alla rottura. Se nelle funivie e teleferiche, che sono soggette a sforzi anche dinamici, è stabilito un grado di sicurezza 5, potremo benissimo ammettere, per una costruzione che sta

ferma, il grado di sicurezza 4 e saremo tranquillissimi se pensiamo che la fune metallica è costituita di materiale che sorpassa qualsiasi altro in omogeneità. Il solo fatto di essere costituita da fili garantisce qualsiasi irregolarità nel materiale.

Ora noi abbiamo un divario di funi flessibili che, a cominciare dal diametro di $5\frac{1}{2}$ mm., giunge fino a 42 mm. con dei carichi di rottura che passano da 1500 a 80.000 Kg. Noi potremo pertanto far lavorare la fune flessibile a seconda del suo diametro da circa 400 Kg. a circa 20.000 Kg. di tensione.

Se noi esaminiamo nei manuali le caratteristiche delle funi a trefoli (quelle che più a noi interessano) e senza curarci molto della loro costituzione, del numero dei fili e dei trefoli, deduciamo subito un dato medio pratico sufficiente a determinare, in relazione al peso della fune, ed al grado di sicurezza 4, qual'è la tensione massima T alla quale noi potremo far lavorare la fune. In generale, con buona approssimazione, questa tensione massima T corrisponde al peso di un metro di fune in grammi moltiplicata per 3.

Premesso quanto sopra, noi sappiamo che sotto il carico la fune si dispone secondo una curva che è la catenaria. E' anche noto che pei calcoli la catenaria viene generalmente e con buona approssimazione sostituita dalla parabola, curva questa che con le sue semplici e meravigliose proprietà, ci permette deduzioni dirette della massima semplicità.

Noi sappiamo pure che la freccia nel punto mediano della campata (con appoggi a livello) è data dalla nota formula

$$f = \frac{P L^2}{8 T}$$

dove P in Kg. è il complesso del carico formato dal peso della fune e da tutto quanto pesa su di essa (copertura, vento, neve ecc.) considerato per 1 m. lineare di fune; L è la campata in m.; T è la tensione della fune. Se gli appoggi hanno un dislivello h , alla estremità superiore si ha una maggiore tensione, costituita da $\frac{P h}{2}$.

In generale, per un primo calcolo, $P h$ può trascurarsi, dato che il dislivello fra gli appoggi in queste costruzioni non è mai di grande entità come accade invece per le teleferiche in montagna.

Devesi aggiungere che i pesi gravanti sulla fune vanno considerati perpendicolarmente ad essa, cioè alla linea congiungente gli appoggi. E quindi sia per il peso proprio della copertura e quello eventuale della neve, come pure per quello prodotto dal vento, noi dovremo fare le riduzioni opportune.

Da quanto abbiamo premesso, possiamo concludere che per i nostri calcoli potremo lavorare essenzialmente sulla formula che si è menzionato.

Ora i casi sono due :

- o dispongo di una fune di diametro determinato,
- oppure posso scegliere la fune, se ne ho parecchie disponibili, di diametro diverso.

Nel *primo caso*, tutto sta a determinare l'interasse da darsi alle funi di sostegno del tetto e conseguentemente la consistenza della pilastrata centrale e degli ancoraggi. Il problema, in questo caso, è più circoscritto e naturalmente pone qualche limitazione alle possibilità.

Nel *secondo caso* il problema è più generalizzato: avendo la scelta delle funi, si può determinare quale fune sia la più conveniente anche nei riguardi della pilastrata centrale, degli ancoraggi, del modo di appoggio della copertura sulle funi; in altri termini, si può determinare se è più conveniente adoperare funi di diametro maggiore diminuendo così il numero dei tiri da fare, oppure se invece non risulti più opportuno impiegare un maggior numero di funi diminuendo gli intervalli tra di esse.

Nel caso che il materiale di copertura non sia costituito da lamiera ondulata, in questa determinazione gioca molto non solo il peso dei materiali di copertura (quello della fune è evidentemente costante) ma anche il tempo occorrente per lo stendimento delle funi, quello necessario per la costruzione della pilastrata centrale, per il fissaggio del materiale di copertura e altre considerazioni le quali possono avere anche una certa importanza (rottura di una fune).

Noi riteniamo che per le costruzioni militari che non debbono richiedere molto personale specializzato, sia opportuno addivenire ad una soluzione semplice e cioè prevedere ad una dotazione di funi, limitata a pochi diametri medi (pressapoco quelli delle nostre teleferiche), in modo da ricondurrei sempre al primo caso e potere stabilire, per ciascuno dei suddetti diametri, una istruzione d'uso a seconda dei vari tipi dei manufatti che si desiderano.

Ora il problema è inquadrato e ognuno può risolverlo a suo piacimento.

La soluzione più conveniente si troverà sempre armonizzando la resistenza dei ritti con la tensione della fune in relazione alla campata necessaria.

Nei calcoli suddetti è indispensabile tenere conto delle possibilità offerte dai ritti tubolari, cui si accennerà in seguito; nonchè delle possibilità di ancoraggio.

Ma vi è un punto nel quale qualcuno potrà essere perplesso e che si ritiene di dovere chiarire subito per risparmio di tempo a chi vorrà occuparsi di queste costruzioni: supponiamo di avere determinato, in relazione ai carichi accidentali da prevedersi nella zona in cui si impianta la costruzione: la pendenza della falda, la scelta della fune, l'intervallo, l'entità della tensione massima cui dovrà lavorare la fune, la freccia sotto questa tensione nell'ipo-

tesi di pieno carico, l'entità degli ancoraggi, ecc. ecc. Ora si deve tendere la fune. *Quale* tensione si dovrà dare inizialmente perchè, *quando ci sarà il carico*, si verifichino le nostre ipotesi e conclusioni di calcolo? Quali mezzi di misura dovranno adoperarsi?

Basta ricordare:

- che un carico unico agente in mezzo alla campata *perpendicolarmente alla fune* produce la stessa freccia del suo doppio distribuito lungo la fune. Quindi, se io applico *perpendicolarmente* alla fune un carico unico metà di quello complessivo che *sopporterà la fune su tutta la campata in caso di carico...* io ho riprodotto la freccia;
- che a *parità* di tensione (veggasi formula) la freccia varia linearmente col variare del carico.

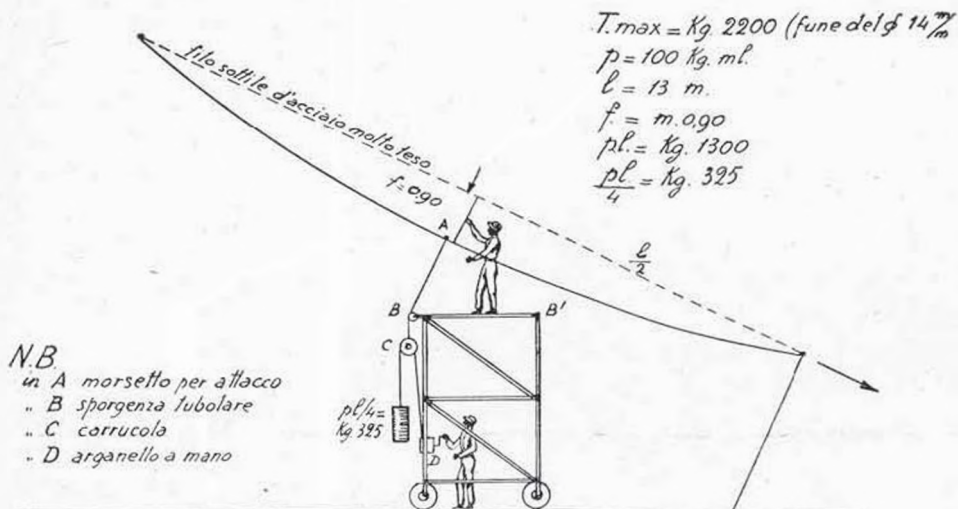


Fig. 2.

Quindi, senza dinamometri, con il dispositivo indicato nella figura 2 (impalcatura mobile o cavalletto, ecc.) si può generale la freccia. Basterà che chi è addetto al tenditoio della fune arresti la tensione quando viene avvertito da chi sta sull'impalcata che si è raggiunta la freccia giusta, quella precalcolata pel caso di pieno carico.

Non occorre pertanto impiego di personale specializzato nè speciali strumenti.

E' evidente (veggasi figura 2) che se il carico $\frac{P \cdot L}{4}$ (ottenibile con sacchi di terra o rottami metallici previamente pesati) è troppo forte, si può ri-

durlo, però la freccia da misurare deve essere ridotta in proporzione. Con questo accorgimento l'operazione di tensione delle funi non presenta alcuna difficoltà.

2) RITTI DI SOSTEGNO DELLA FUNE AL CENTRO E AI FIANCHI.

E' stato previsto l'impiego di materiale tubolare del tipo più diffuso nel nostro Paese: materiale che tutti possono vedere impiegato nei normali cantieri di costruzioni edili. Le caratteristiche principali di questo materiale dovranno essere ben presenti nei calcoli.

I tubi di acciaio che lo costituiscono hanno le seguenti caratteristiche:

- diametro est. mm. 48 — spessore mm. 3,25 — peso: ml. Kg. 3,70
sezione cm^2 4,57 — momento d'inerzia cm^4 11,47 — momento resistente cm^3 4,78.

Hanno lunghezze differenti fino a 5-6 metri e possono innestarsi in prolungamento uno dall'altro mediante apposita spina e speciale giunto a collare. Altri tipi di giunti a collare permettono di collegare tubi ad angolo retto.

Per calcoli sommari è bene tenere presente:

- che il tubo, per la lunghezza di 2-3 metri (quanto normalmente intercede fra le traverse delle incastellature), può portare 3-2 tonnellate al carico di punta;
- che, alla tensione, i giunti a collare normali possono arrivare fino a 1000 Kg., ma che esiste anche un recente giunto speciale fornito di risalto interno il quale, inserendosi in appositi fori di estremità del tubo, aumenta la possibilità del collare portandone praticamente la resistenza pari a quella del tubo.

Con le combinazioni possibili fra tubi e giunti si possono fare travi reticolari, centine, pensiline e capriate fino ad una entità discreta.

Queste strutture tubolari, oltre il loro più comune impiego per ponteggi e armature, per getti di calcestruzzo di solai e ponti ecc. per tribune coperte e scoperte, alte ecc., sono anche molto indicate per scaffalature.

Il connubio ora da noi proposto con la fune rappresenta un ulteriore felice utilizzazione perchè permette di risolvere i seguenti problemi che coi tubi trovavano limitazione di soluzione:

- l'attacco del materiale di copertura nei casi di capriate metalliche;
- il problema delle grandi campate.

L'appoggio della fune sui ritti è bene sia curvo e tale da non danneggiare la fune. All'uopo è stata prevista una specie di scarpa curva in alluminio da infilarci sulla testa del tubo.

La fune può anche *eccezionalmente* appoggiarsi a cavallo di un tubo orizzontale; eccezionalmente perchè il tubo non è fatto per sforzi di flessione. Ad ogni modo se ciò può essere comodo (per tensioni ad angoli limitati) in casi speciali, si fa presente che il tubo può sopportare uno sforzo di circa Kg. 250 sulla campata di m. 1 (carico unico in mezzaria).

Per campate maggiori la riduzione varia in proporzione lineare.

Per il calcolo della struttura dei ritto centrali deve, infine, tenersi presente che la pressione nel ritto generata dalla tensione T della fune è data dal $2 T \cos \alpha$ essendo α l'angolo che, all'appoggio superiore *la tangente* (non la falda) fa con la *verticale*.

Per conoscere questa tangente è sufficiente (ricordando un'altra proprietà della parabola) congiungere l'appoggio con un punto distante $2 f$ dalla mezzaria della falda (nel senso perpendicolare alla falda).

Questa operazione serve anche all'appoggio inferiore (estremo basso della falda) per determinare l'inclinazione del tetto in relazione alla freccia (o viceversa) quando si vuole verificare che l'acqua possa debordare dalla falda in caso di carico.

3) ANCORAGGI.

E' questione importante, un po' meno di quella del ritto centrale il quale deve assorbire la pressione generata dalla tensione di due tratti di fune, mentre l'ancoraggio sopperisce ad una sola di esse.

Per calcoli speditivi e con buona approssimazione potremo considerare che la componente verticale (peso) necessaria all'equilibrio di una fune tesa sia pari alla metà della pressione nel ritto centrale. Con questa ipotesi saremo sempre in favore della stabilità.

D'altra parte sappiamo che questa componente verticale è data da $T \sin \varphi$ dove φ è l'angolo d'inclinazione della fune d'ancoraggio al terreno.

L'ancoraggio può essere di natura ed entità diverse a seconda:

- dell'inclinazione della falda;
- dell'entità dei carichi e cioè della tensione della fune.

Esso deve sempre determinarsi caso per caso in relazione ad un calcolo sia pure sommario.

Per terreni rocciosi può essere costituito da elementi metallici infissi in fori da mina di diametro opportuno.

Nei terreni vegetali o sciolti può essere costituito da pali infissi nel terreno, oppure da elementi interrati immobilizzati dal peso del materiale soprastante (ancoraggi a gravità), ed infine da elementi misti funzionanti in parte a gravità e in parte a contrasto.

Nel caso di terreni rocciosi occorre verificare attentamente la natura della roccia e non fermarsi coi fori al cappellaccio; in quello dei pali infissi è indispensabile, specialmente per forti tensioni, verificare attentamente che non possa avvenire lo svellimento o anche piccoli movimenti in avanti dopo effettuata la tensione perchè questi, anche se minimi, possono provocare una forte caduta nella tensione delle funi.

Invece gli ancoraggi a gravità sono i più sicuri perchè in essi funziona unicamente il peso. Essi meritano perciò una menzione speciale.

Nella loro struttura più semplice questi ancoraggi sono costituiti da piastre di calcestruzzo, da tondoni con soprastanti tavoloni o qualunque materiale resistente, il tutto interrato a profondità tale che sia impossibile la loro rimozione senza il sollevamento del terreno o dei materiali soprastanti.

Il peso di *un metro* cubo di materiale terroso o sabbia sciolta sommariamente costipato è di circa 1500 Kg.

Se al posto del terreno metteremo del pietrame alla rinfusa, il peso sarà pressochè lo stesso. Se fra i vuoti del pietrame faremo penetrare fango costituendo una specie di muratura a sacco, il peso aumenterà di circa 500 Kg. Se volessimo semplicemente sostituire il terreno col calcestruzzo, otterremmo un peso di $2200 \div 2400$ Kg., e quindi avremmo poco vantaggio rispetto al costo. Ciò però deve essere considerato alla stregua della durata prevista per la costruzione.

Dopo quanto abbiamo accennato è facile determinare il genere e l'entità dell'ancoraggio già fin dall'inizio.

E' possibile, difatti, conoscere subito a quanto ammonta la tensione complessiva per metro corrente di fiancata di tettoia. Basta tradurre sommariamente in tensione sulla fune il peso a metro corrente che si prevede possa gravare sulla falda, avuto riguardo all'entità della campata massima. Credo più opportuno un esempio.

Supponiamo di avere un capannone con le due campate libere di m. 10 (lunghezza falda). - Carico di peso proprio (lamiera) Kg. 10 al mq. - Vento orizzontale Kg. 120 al mq. Inclinazione falda $2/3$ (33° circa). Campata orizzontale m. 8,40.

AmMESSO che ci sia una fune ogni metro d'intervallo (se le funi sono più di una, la determinazione non cambia di entità), avremo complessivamente (veggasi anche note precedenti) un carico perpendicolare alla fune di Kg. 72 per metro corrente.

Supponiamo di avere disponibile la fune da 14 mm. del peso di gr. 680 al metro.

Sappiamo che si può tirarla fino a Kg. $3 \times 680 = 2040$ Kg. (grado di sicurezza 4).

Se vogliamo ridurre al minimo la freccia, non resta che considerare nel mezzo campata la tensione massima suddetta di 2040 Kg. e ottenere *sotto carico* la freccia $f = \frac{72 \times 10^2}{8 \times 2040} = 0,44$ (in condizioni di riposo, senza vento la freccia di m. 0,065).

Se invece si tiene presente che, in relazione alla necessità di scolare l'acqua dalla falda, si può arrivare anche ad una freccia massima di circa m. 1,60, si deduce la *tensione minima* nel mezzo campata in

$$2040 \times \frac{0,44}{1,6} = \text{Kg. } 560.$$

In questo modo abbiamo determinato i due limiti estremi entro i quali possiamo usare la fune di 14 mm di diametro.

Nel primo caso si ha sotto carico freccia minima di m. 0,44 col grado di sicurezza 4; nel secondo, la freccia massima di m. 1,60 con grado di sicurezza molto superiore e quasi 15.

Con questi elementi si può giocare a seconda delle convenienze e delle possibili locali, in fatto di ancoraggi e di frecce.

Ma soprattutto sappiamo che l'ancoraggio massimo è quello che deve resistere alla tensione di Kg. 2040, il che si traduce in una componente verticale di $2040 \times \sin 33^\circ = 1265$ Kg.

Se facciamo un fosso largo un metro e interriamo piastre o tondoni con soprastanti tavole che interessino la stessa larghezza, accertiamo subito che basta poco più di un metro di profondità di scavo.

In conclusione, per il *carico e campate* considerati è stato determinato qual'è il più oneroso dei nostri ancoraggi.

E' superfluo avvertire che cambiando fune le cose non mutano, perchè è sempre solo il carico e l'entità della campata nonchè il grado di sicurezza che influiscono sull'ancoraggio.

Molto altro ci sarebbe da dire sugli ancoraggi, ma si ritiene di avere già trattato troppo diffusamente il problema ai fini di questa esposizione.

IV. — REALIZZAZIONE DELLA COPERTURA CARATTERISTICHE DEL MATERIALE

E' evidente che il materiale costituente la vera e propria copertura del tetto e le eventuali sottostrutture devono essere in grado di seguire senza sconnettersi o danneggiarsi il movimento delle sottostanti funi. Da questa considerazione emerge:

- a) che tutto il materiale deve essere assicurato alle funi direttamente o con struttura intermedia;

- b) che i materiali più idonei sono indubbiamente le lastre metalliche, le quali risentono meno danni da eventuali movimenti.

Sulla seconda affermazione occorre tuttavia fare delle eccezioni. Si è riscontrato che ha buona possibilità di impiego anche la tegola piana scanalata (marsigliese), e la lastra di eternit cosiddetta alla « romana » (doppia onda); la prima con il normale appoggio su correntini assicurati alle funi e le prescritte legature, la seconda con appoggio su correntini a staffe ad « S coricata ».

Abbiamo accennato a queste possibilità perchè non sarà raro il caso di doversene avvalere per costruzioni semipermanenti ove non siano prevedibili spostamenti frequenti e perchè il loro impiego è alquanto più economico, rispetto alla copertura con lamiere.

La Ditta inglese cui si è accennato nella premessa, ha inventato per queste strutture pensili delle speciali lastre di copertura costituite di acciaio rivestito di materiale bituminoso e polvere lapidea. Tale materiale (naturalmente brevettato) sostenuto da arcarecci (in profilati di acciaio) è assai ingegnoso specie nel modo di sovrapposizione delle lastre. Esso però costituisce un certo peso, perciò uno svantaggio nei trasporti. Per questo motivo e per gli altri citati nella premessa tale materiale, ancora pressochè sconosciuto sul mercato italiano, non viene considerato agli effetti del nostro impiego.

LAMIERA ONDULATA.

Vi sono vari tipi di questo materiale. Anzitutto la lamiera può essere nera o zincata. I tipi più comuni, quelli che a noi interessano, sono tre, ed hanno lunghezza normale di m. 2. Eccezionalmente si trovano nella lunghezza di m. 3 (occorre in generale ordinarli appositamente).

I tre tipi si differenziano per la larghezza, nonchè per l'altezza delle onde. Essi, che provengono dalla calandratura della lastra liscia di m. 1, sono i seguenti:

- tipo A con larghezza d'onda di mm. 127 e altezza mm. 32 — larghezza m. 0,85;
- tipo B con larghezza d'onda di mm. 100 e altezza mm. 31 — larghezza m. 0,85;
- tipo C con larghezza d'onda di mm. 76 e altezza mm. 18 — larghezza m. 0,90.

Gli spessori vanno da 3/10 di mm. fino al millimetro nelle lamiere zincate con progressione di 1/10 di millimetro. Per le lastre nere gli spessori vanno fino a 4 mm.

I pesi per le lastre nere vanno da Kg. 4,800 (per il tipo da 3/10) fino a Kg. 16 per quelle di mm. 1 (ogni decimo di mm. Kg. 1,6).

Le lastre zincate pesano Kg. 1,2-1,3 in più cadauna per la zincatura (spessore medio di 1/20 di millimetro).

La resistenza delle lamiere al carico distribuito è variabile in misura pressochè proporzionale allo spessore. - Difatti, mentre la lamiera da 8/10 di mm. può portare circa 94 Kg. di carico, quella da 4/10 ne porta 47,3 - quindi pressapoco la metà.

Il tipo più diffuso è il tipo C: larghezza m. 0,90 — onde larghe mm. 76 e alte mm. 18.

E' questo il tipo che, in omaggio ai requisiti citati nella premessa, noi riteniamo debba adottarsi, malgrado che la sua resistenza sotto il carico sia inferiore a quella dei tipo A e B.

MODI DI FISSAGGIO DELLE LAMIERE SULLE FUNI.

Può essere *diretto*, *indiretto* e *misto*.

Nel fissaggio *diretto* (fig. 3) le lamiere appoggiano sulle funi lungo le onde senza listelli intermedi. Può usarsi solo quando si verificano *congiuntamente* i casi seguenti:



Fig. 3.

Applicazione delle lamiere alle funi.
Fissaggio diretto.

- quando, in relazione alla posizione geografica o alla stagione, non si debba temere la neve e quindi la pendenza della falda può essere molto limitata;
- quando l'interasse fra le funi sia ridotto e permetta l'appoggio della lamiera almeno su 3 funi.

Nell'appoggio *diretto* è evidente la necessità che l'interasse tra le funi sia un multiplo della larghezza dell'onda. In questo tipo di appoggio le lamiera sono fissate alle funi mediante staffe conformate come un « S coricata ». Le staffe sono allacciate ad un morsetto applicato alla fune. Il bordo inferiore della lamiera si appoggia nell'ansa superiore della S mentre l'ansa inferiore dà appoggio alla lamiera sottostante.

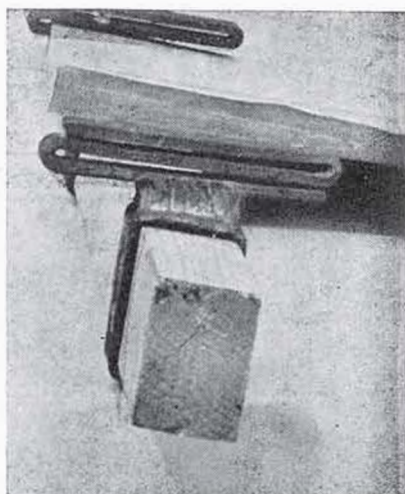


Fig. 4.

Applicazione delle lamiera alle funi.
Fissaggio indiretto.

Il fissaggio *diretto* può essere opportuno in molti casi: rappresenta il massimo dell'utilizzazione del materiale in fatto di peso e di semplicità di impiego. Esso pone però qualche limitazione nell'impiego del materiale, richiede l'impiego di molte funi, obbliga *talvolta* a tempi di montaggio un po' superiori a quelli degli altri tipi, a qualche precauzione durante la costruzione per premunirsi da oscillazioni armoniche nel periodo di tempo durante il quale le pareti laterali o le testate sono ancora aperte.

Per la sua semplicità e rendimento e per il fatto di non richiedere l'impiego di alcun materiale legnoso questo tipo di fissaggio è conveniente in molti casi, specie quando si debbano temere incendi.

Nel *fissaggio indiretto* (fig. 4) le lamiera appoggiano su correntini trasversali alle funi nello stesso modo praticato per le strutture normali, con la differenza che la lamiera non è inchiodata in alto e graffiata in basso, ma inserita nelle solite staffe ad « S coricata ». Le staffe sono fissate ad appositi

calastrelli di ferro che avvolgono i correntini. Questi vengono fissati solidamente ai calastrelli mediante zeppe a cuneo di ferro o di legno. Piccoli morsetti applicati saltuariamente alle funi non permettono ai correntini di scivolare. In ogni incrocio del correntino con la fune si esegue una legatura semplice in croce con filo di ferro per evitare il sollevamento delle lastre in caso di sottopressioni dovute al vento.

Questo fissaggio è il più semplice e spedito ed è indipendente dall'interasse delle funi. Presenta però qualche inconveniente in montagna dove si deve temere il nevischio pulverolento, perchè lascia qualche piccolo spazio fra lastra e lastra in corrispondenza delle sovrapposizioni.

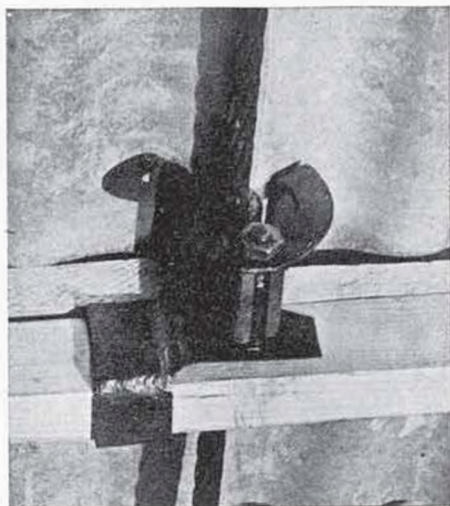


Fig. 5.

Applicazione delle lamiere alle funi.
Fissaggio misto.

Nel *fissaggio misto* (fig. 5) le lamiere appoggiano lungo le funi e anche in traverso su correntini. Questi ultimi sono sistemati in modo da costituire un vero e proprio forzamento elastico fra una lamiera e l'altra nelle sovrapposizioni. Per questo fissaggio è stato escogitato da chi scrive un apposito morsetto doppio a ganasce che abbraccia la fune nella sua parte superiore e porta in quella inferiore un bullone al quale sono assicurate le staffe ed i calastrelli. I correntini stanno quindi sotto la fune e le ondulazioni della lamiera appoggiano sui correntini o direttamente o con l'intermezzo di stecche di forzamento. Le staffe ad « S coricata » sono *due* per ogni morsetto.

Questo sistema è il più completo. Va bene ovunque, anche in montagna. Richiede un tempo un po' maggiore nel montaggio e rende opportuno (non indispensabile) che l'interasse fra le funi sia un multiplo della larghezza d'onda della lamiera.

Esso risolve però tutti i casi d'impiego con tranquilla sicurezza.



I modi di fissaggio suddetti sono quelli « classici » per queste strutture. Essi possono tuttavia variarsi ancora sostituendo ai correntini di legno dei piccoli profilati in ferro o in alluminio, adottando altro tipo di morsetto, ecc. Noi non abbiamo considerato di proposito queste varianti per non andare fuori dei limiti di massima semplicità e reperibilità dei singoli materiali che ci siano imposti in premessa.

E' tuttavia opportuno aggiungere a quanto si è esposto su questo argomento qualche considerazione che può servire a chiarire dubbi ed evitare inconvenienti:

- 1) nei modi di appoggio *indiretto* e *misto* i correntini, secondo quanto esposto, risulterebbero applicati solo alle estremità delle lamiere. Ciò può rendere perplessi sulla capacità di resistere al vento e al carico di neve. In proposito è bene mettere in rilievo che possono benissimo inserirsi correntini intermedi nel numero sufficiente a fornire la resistenza necessaria;
- 2) da quanto precede consegue la possibilità di diminuire lo spessore delle lamiere e di adottare tipi leggeri con una rilevante economia. Basti pensare che l'inserzione di un correntino intermedio delle dimensioni di cm. 4 × cm. 6 (peso Kg. 1,2 costo circa L. 100) che raddoppia la resistenza della lamiera, permette di usare quella dello spessore di 4/10 anziché di 8/10 con un risparmio nel peso di Kg. 6,4 pari a circa lire 1600;
- 3) l'esperienza fatta ha dato modo di constatare l'opportunità che la sovrapposizione delle lamiere avvenga su di un'onda e mezzo e non solamente su mezza onda come normalmente si usa. Ciò assicura la perfetta tenuta alla pioggia anche in caso di forti temporali con vento trasversale;
- 4) E' opportuno per la buona conservazione del materiale che la posa delle lamiere avvenga sempre senza montarci sopra. Si eviterà qualche ammaccatura che può essere fastidiosa nella posa in opera delle lamiere successive e che stona all'occhio.

Dovendo accedere ulteriormente sul tetto è bene farlo, come d'altronde si usa normalmente, con la interposizione di una tavola.

V. — STRUTTURE COMPLETIVE

1) PARETI LATERALI E DI TESTATA.

Per costruzioni *non* militari, nelle quali il fattore economico prepondera e gli altri requisiti che ci siamo imposti possono avere minore valore, le pareti possono essere costituite dal materiale che dà le maggiori possibilità locali in relazione all'uso che si vuole fare della struttura.

In questo caso le pareti possono essere benissimo di muratura in pietrame o laterizi, in legname, ecc..

Ma nelle costruzioni militari e in quelle altre di carattere provvisorio, nelle quali il requisito della trasportabilità e recuperabilità dei materiali sono essenziali, si può tranquillamente affermare che il materiale più indicato è ancora la lamiera ondulata integrata eventualmente da lamiera liscia.

Le pareti di lamiera ondulata o liscia debbono costituire dei veri e propri pannelli che riempiono le strutture tubolari laterali cui abbiamo già accennato. Tali lamiere vengono assicurate e trattenute a queste strutture da funicelle metalliche di acciaio di diametro e peso minimi le quali però forniscano la resistenza necessaria allo sforzo del vento — sforzo che occorre sempre tenere presente nella costituzione delle pareti. Il fissaggio di queste lamiere alle funicelle e fra di loro avviene come per il tetto mediante staffe ad « S » e morsetti.

Per manufatti che raggiungono una certa altezza occorre preoccuparsi di assicurare non solamente i singoli pannelli ma tutta la struttura contro la spinta orizzontale del vento (100 Kg. al mq.).

A tale scopo si renderanno necessari o puntellamenti interni (nelle testate di accesso) o tiranti esterni ancorati al terreno. Opportuni provvedimenti costruttivi, che qui non è il caso di indicare, potranno ridurre l'ingombro dei puntellamenti nella parte interna del manufatto.

In taluni casi, specialmente per ricovero di uomini o per conservazione di materiali che temono le alternative di caldo e di freddo o le alte temperature estive (materiali esplosivi), si renderanno necessarie le doppie pareti ed il soffitto. Le prime possono realizzarsi sempre con lo stesso materiale ed eventualmente con lamiere lisce verso l'interno. Del soffitto verrà fatto cenno in seguito.

2) SERRAMENTI DI FINESTRE - PORTE - PORTONI.

Le finestre possono essere di *tipo unificato* usufruendo anche del materiale tubolare oppure di tipo misto cosiddetto di *circostanza*. Nel tipo unificato che noi abbiamo studiato l'asse di rotazione è orizzontale ed è costituito da

uno dei soliti tubi alle cui estremità sono applicate delle buccole-cardine. A questo tubo vengono applicati, mediante appositi collari, pannelli di piccoli profilati delle dimensioni di cm. 50 x 50 accoppiabili fra loro. Con questo sistema si possono fare finestre orizzontali di varie dimensioni, anche ragguardevoli.

Il tipo di *circostanza* usufruisce dell'asse orizzontale del tipo unificato ma forma la struttura dello sportello e del telaio in legname. E' il più semplice.

PORTE.

Le porte possono costituirsi mediante intelaiatura ottenuta con il solito materiale tubolare integrato delle buccole-cardine già menzionate per le finestre. I pannelli possono essere di lamiera ondulata o liscia assicurata mediante staffe ad S e morsetto alle solite funicelle oppure in altro modo.

PORTONI PER AUTORIMESSE - AVTORIMESSE.

Sia i portoni fissi a 2 battenti sia i portoni scorrevoli per grandi aperture, possono costruirsi agevolmente con intelaiature tubolari e pannelli di lamiera ondulata.

Se si tratta di portoni fissi a 2 battenti, si possono usare quali cardini le buccole-cardine già menzionate. Se invece occorrono grandi aperture, si possono realizzare fino alle dimensioni di m. 5 di altezza per 4 di larghezza facendoli scorrere su apposite guide tubolari soprastanti (ottenute sempre con lo stesso materiale).

Le guide sono sostenute da apposite travi reticolari (di materiale tubolare). Su di esse scorrono apposite rotelle munite di cuscinetti a sfere che attraverso staffe reggono i portoni. La parte inferiore di questi scorre in apposite scanalature ottenute fra 2 travi dormienti.

Le strutture necessarie per i grandi portoni scorrevoli spostano alquanto l'economia della costruzione perchè assorbono 200 Kg. circa di peso per ogni ml. di apertura (100 di trave e 100 di portone). Esse rappresentano tuttavia una delle migliori soluzioni, forse *l'unica*, per il problema delle grandi aperture in manufatti di carattere provvisorio o campale.

SOFFITTO.

Può occorrere, come già si è accennato, in vari casi. La sua costruzione non presenta speciali difficoltà; deve tuttavia essere costituito da materiale leggero. Si prestano bene le lastre di eternit piane, le lamiere lisce (che sono incombustibili) nonchè le assicelle sottili e il compensato. In casi del tutto campali può essere usata anche la semplice tela (tela - copertoni, ecc.).

Per gli usi militari riteniamo doverci orientare verso i primi due materiali incombustibili. La scelta per questi due materiali potrà dipendere da varie ragioni: agli effetti della trasportabilità o della posa in opera è più indicata la lamiera, nei riguardi economici l'eternit.

Il sistema di appoggio o sostegno del soffitto può essere realizzato in vari modi:

- a) o costituendo una leggera struttura interna tubolare integrata da funicelle metalliche che sostengono le lastre o direttamente (più opportuno) o mediante graffe;
- b) o costituendo una struttura pensile interna analoga a quella del tetto ma molto più leggera (perchè non deve resistere che al peso del soffitto).

A questa struttura potrà appendersi la leggera intelaiatura orizzontale costituente il soffitto;

- c) o appendendo direttamente mediante funi verticali questa ultima intelaiatura alle funi della copertura.

L'opportunità dell'uno o dell'altro sistema va esaminato caso per caso, in relazione anche alla disponibilità del materiale. Giova tuttavia rappresentare che nel caso c) la soffittatura segue i movimenti della falda del tetto e cioè si alza e si abbassa sotto gli impulsi del vento. Sembra quindi meno indicato nel caso di ricovero di persone che non conoscono la struttura. Per gli usi militari può benissimo impiegarsi — e per evitare anche il fatto... psicologico, basterà, laddove possibile, aumentare il numero delle funi portanti conferendo alla intera struttura una resistenza sovrabbondante in modo da potere tendere maggiormente le funi e ridurre quindi molto le oscillazioni.

Questo aumento di resistenza non porta ad un sensibile accrescimento nella spesa. Difatti, come si vedrà in seguito, il peso delle funi portanti, paragonato a quello degli altri materiali costituenti il manufatto, è minimo (non arriva al 10 %).

PAVIMENTI.

Questo elemento ha poca importanza. La sua costituzione dipenderà:

- dall'uso che si vuol fare del manufatto;
- dalla possibilità di rinvenire sul posto materiali che ne permettono la costruzione più economica;
- dalla durata che deve avere la costruzione;
- dal fattore economico.

Non riteniamo di dovere sviluppare questo argomento.

VI — PROVVEDIMENTI LAVORATIVI PER LA COSTRUZIONE EFFETTIVA

Si indicheranno sommariamente in senso generale senza entrare nel dettaglio, in senso cronologico, avvertendo però che ordine di successione e genere di lavori possono anche subire delle varianti in relazione a condizioni locali:

- 1) *Esame, a tavolino*, della zona con *decisioni iniziali* orientative sulla entità dei carichi accidentali di vento-neve che possono prevedersi sia in relazione alla posizione geografica e topografica, quanto alla durata di permanenza in sito della costruzione (ad esempio: è inutile prevedere il carico di neve o forte pendenza per evitarlo se il manufatto serve solo d'estate).

Questo esame iniziale conduce subito alla scelta del materiale o del tipo della costruzione e dà modo di disporre per l'invio del materiale sul posto.

- 2) *Ricognizione* (se necessaria) e compilazione di un *progetto sommario* ma già esecutivo. Per i tipi militari che si presumono « normalizzati » si tratterà solo di scegliere il tipo ». Scopo principale della ricognizione, oltre al rilievo sommario, magari solo visivo, della zona d'impianto, sarà quello di accertare la natura del terreno e la sua resistenza al carico per potere decidere subito il tipo e la consistenza delle fondazioni dei ritti centrali e laterali nonchè il tipo di ancoraggio.
- 3) *Afflusso del materiale sul posto* ed esecuzione degli scavi per le fondazioni dei ritti e degli ancoraggi. Ove necessario questi lavori devono essere preceduti o eseguiti contemporaneamente allo spianamento del terreno nonchè alla sistemazione del sottofondo per il pavimento (quando necessita impiegare rullo compressore).
- 4) *Costruzione degli ancoraggi* e contemporaneo montaggio, a terra, di quelle parti di pilastrata centrale e laterali che è possibile costruire ivi. Costruzione di uno o più trabattelli o ponti di servizio mobili a mezza campata in previsione delle operazioni successive.
- 5) *Drizzamento*, con eventuale controventamento provvisorio, della pilastrata centrale e di quelle laterali.
- 6) *Stendimento progressivo* della fune ove si tratti di fune unica o stendimento contemporaneo delle varie funi ove si tratti di spezzoni già predisposti e tensione provvisoria.

- 7) *Tensione definitiva delle funi* (con uso dei trabattelli per la determinazione delle frecce) e fissaggio definitivo agli ancoraggi. La determinazione della freccia è sufficiente farla sulle campate di una sola falda. Verifica finale di controllo di buona chiusura dei morsetti.
- 8) Costruzione di *efficienti* bordi di riparo (pietrame, legname, ecc.) interni od esterni per protezione dei piedi dei ritti e delle funi di ancoraggio nel caso si debba prevedere transito di autoveicoli.
- 9) Posa in opera del materiale di copertura contemporaneamente sulle due falde. Se trattasi di lamiera, si opererà stando possibilmente nell'interno della costruzione, usufruendo dei trabattelli o di ponteggi pensili magari appesi alle funi.
- 10) Chiusura delle pareti laterali e di testata. Formazione a terra delle porte e finestre — successiva loro posa in opera. Ove sia necessario l'impiego di grandi portoni scorrevoli occorrerà a tutte queste operazioni di chiusura fare precedere la posa in opera della travatura reticolare di sostegno dei portoni stessi.
- 11) Finimento del pavimento.
- 12) Costruzione dell'eventuale soffitto e doppie pareti.
- 13) Finimento interni e sistemazione delle cunette esterne per scolo delle acque.



Gli attrezzi necessari per i lavori suddetti sono quelli normali dell'artiere con in più:

- tenditoi a catena o paranchi per la tensione delle funi;
- chiavi inglesi fisse idonee.

VII — DATI SOMMARI ORIENTATIVI DI PESO - TRASPORTI MAGAZZINAGGIO - MANO D'OPERA - COSTO

Ci riferiamo al tipo di costruzione più semplice con campate fino a 10 metri — senza soffitto — a semplici pareti — con porte o portoni a battenti, senza tener conto del pavimento. I tipi di costruzioni più completi portano aumenti di peso che verranno unitariamente citati.

Se consideriamo una costruzione esemplificativa di 2000 metri quadrati di area coperta, potremo ricavare questi dati sommari approssimativi:

— Tuberia	»Kg.	14.500
— Fune	»	3.000
— Lamiera nere 4/10	»	11.800
— Listelli mc. 3	»	1.500
— Morsetti, staffe ecc.	»	700

31.500 arrotondato a Kg. 32.000.

Sono stati omessi i tondoni e materiali soprastanti di fondo ancoraggio che debbono trovarsi in loco e possono essere costituiti di qualsiasi legname, anche ceppi da bruciare.

Il peso complessivo suddetto aumenta nei singoli casi delle percentuali seguenti:

— per impiego lamiera zincata anzichè nera	7 %
— " " " di maggior spessore: ogni decimo di mm. in più	10 %
— " " doppia parete lamiera nere 4/10 mm.	9 %
— " " " " " zincate 4/10 mm.	10,5 %
— " " " " lamiera maggior spessore: ogni decimo di mm. in più	2 %
— " " soffitto lamiera liscia 4/10 mm.	25 %
— " " " eternit	100 %
— " " " legno compensato	50 %
— " " grandi portoni scorrevoli su di una sola te- stata: ogni portone, compreso trave sospen- sione ecc., m. 4 x 5	3 %

Dagli elementi qui sopra riportati emerge che un manufatto pensile può *pesare* da un minimo di Kg. 16 al mq. a un massimo di Kg. 42 per mq. di superficie coperta.

Agli effetti della *trasportabilità* i materiali costituenti questi manufatti sono quanto di meglio si può desiderare in fatto di concentrazione di peso. I mezzi di trasporto possono essere sfruttati a pieno carico e pertanto chiunque può farsi il computo degli autocarri o vagoni ferroviari occorrenti, con delle constatazioni sorprendenti se si fanno i paragoni con altre strutture. Basti osservare che con uno o due autotreni si portano 1000 mq. di struttura.

Questa concentrazione di peso si riflette naturalmente anche nello spazio occorrente per *magazzinaggio* che per 1000 mq. non richiede più di 25-30 mq. di spazio.

Circa il *tempo* occorrente per il montaggio vero e proprio (non contando eventuali sistemazioni del terreno sedime e pavimentazioni) si può presumere

occorrano da 0,50 a 0,75 giornate uomo per mq. - Questo tempo può però ridursi alquanto nel caso che per tipi normalizzati si rinunci alla fune unica.

Nei riguardi del costo si può presumere, grosso modo, che la spesa per il tipo di manufatto più semplice si aggiri attualmente, per il solo materiale, attorno alle 300 lire al Kg. Sicchè la spesa per 1000 mq. potrà variare da circa 3 milioni per il tipo più semplice fino a 10-12 milioni per il tipo più completo.

VIII — CONSIDERAZIONI SULL'IMPIEGO MILITARE

Questo genere di manufatto può servire a molti usi civili e militari. Serve soprattutto quando, per ragioni di precarietà ed economiche, non sia opportuna una costruzione di carattere definitivo e quando sia necessario usufruire della costruzione o dei relativi materiali in luoghi e in tempi successivi. Noi non ci addentreremo nella specifica degli usi civili, ma riteniamo di segnalare di quanta utilità esse possono diventare quando occorra disporre di un tetto idoneo in breve tempo.

Nell'impiego militare ognuno può già rilevare la sua utilità nel ricovero dei numerosi mezzi motorizzati che stanno allo scoperto e pei quali in tutte le Nazioni il problema del ricovero viene sempre esaminato in relazione al costo e alla durata dell'automezzo, alla manutenzione, ecc. ecc..

Sono poi preziose, queste costruzioni, per il caso di officine mobili, di ricovero di fusti, di cucine campali, e a tutti gli usi che debbono temere di eventuali incendi. E servono ancora per magazzini di materiali comprese le munizioni. Per queste ultime la costruzione in materiali metallici permette di avere anche, con il semplice inserimento di piastre di terra, la protezione contro le scariche atmosferiche senza alcuna spesa.

Pur essendo meno indicate per ricovero di uomini, esse possono sopprimere anche a tale scopo come a quello di locali di riunione, refettori, aule didattiche campali — specialmente nei casi di campi d'istruzione.

Possono infine anche servire, se muniti di portoni scorrevoli, per il ricovero di aerei.

Noi riteniamo però che per l'uso militare non si debba ricorrere di volta in volta alla progettazione del tipo di manufatto, delle campate ecc., e cioè richiedere ogni volta l'impiego di un tecnico specializzato.

Per gli usi militari si dovrebbero determinare pochi tipi di ciascuna costruzione per un determinato uso, allungabili, moltiplicabili, e prevedere almeno il loro modo di costruzione in apposita istruzione tecnico-pratica. Se poi si vorrà andare oltre, si potrà anche, almeno per tipi che saranno di uso

più frequente, preparare le campate di fune della lunghezza voluta e gli ancoraggi — facendo eccezione ad uno dei presupposti generali di questo studio. Con queste predisposizioni si potranno realizzare notevoli vantaggi nel tempo necessario alla posa in opera, specialmente se ciascuna campata sarà ancora integrata da un tenditoio semplice a vite che permetterà la tensione quasi simultanea di tutte le funi.

IX — COSTRUZIONE SPERIMENTALE DI ROMA

E' stata realizzata a Roma una costruzione sperimentale che è riportata anche nelle annesse fotografie.

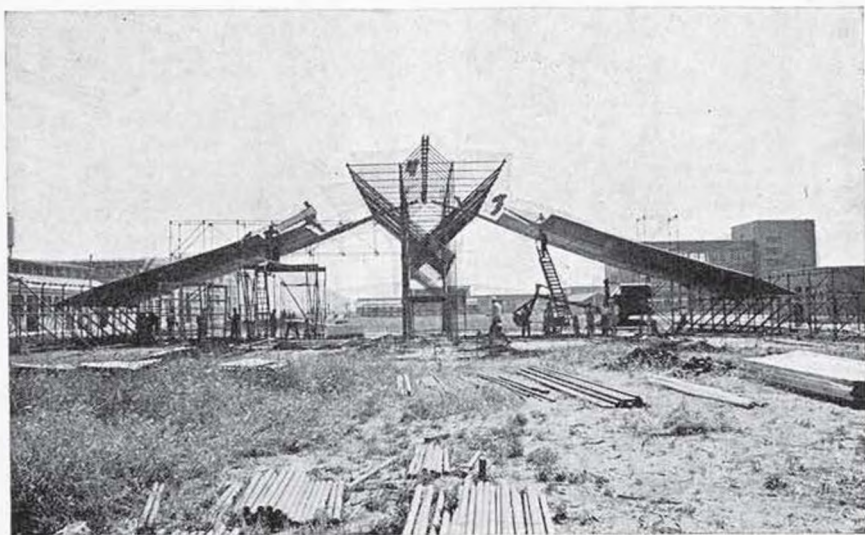


Fig. 6.

Tettola sperimentale in costruzione.

Si tratta di un doppio hangar (fig. 6) con due campate di ml. 12 chiuso sul davanti da portoni scorrevoli (alti m. 5 e larghi m. 4) che permettono di aprire alternativamente anche tutta una campata e di farvi penetrare anche un aereo (fig. 7).

E' stata impiegata fune traente da teleferica da mm. 12 disposta a 50 cm. di interasse. Gli ancoraggi sono sistemati alla profondità di m. 1.

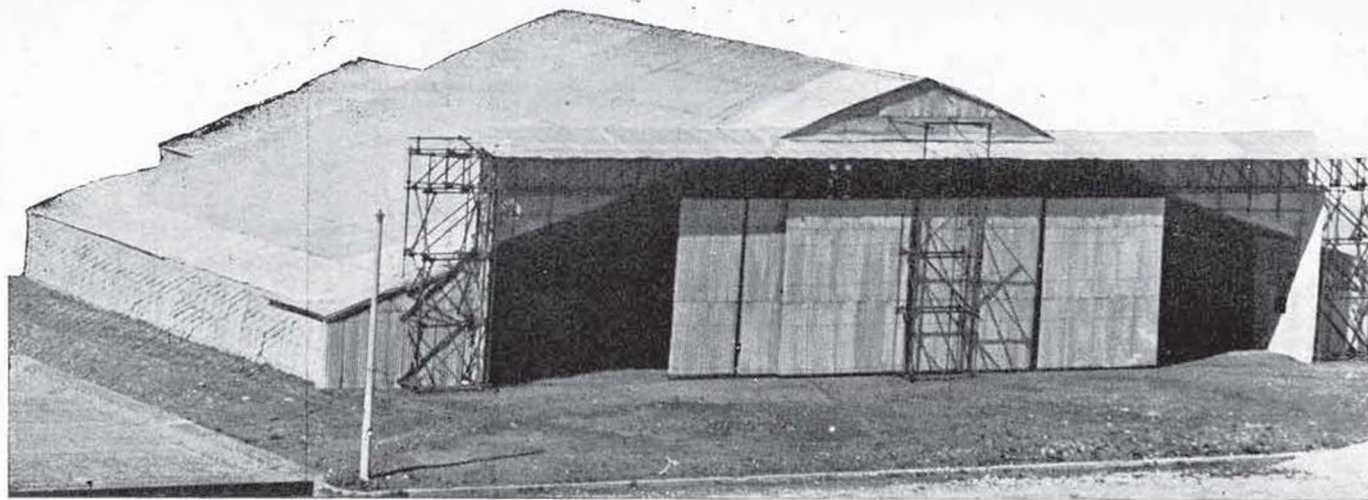


Fig. 7.

Tettoia sperimentale di 32 m. di ampiezza vista di fronte con portoni scorrevoli (due campate laterali di m. 12 di apertura).



Fig. 8.

Tettoia sperimentale con vista da tergo della tettoia coperta in eternit e tegole marsigliesi.

In prosecuzione del doppio hangar è poi stata costruita una tettoia minore di m. 13 di larghezza totale.

La costruzione più ampia (fig. 8) (hangar), è ricoperta di lamiera ondulata di 2 spessori diversi (4/10 e 8/10) e sono stati sperimentati tutti i tre tipi di fissaggio alle funi. Queste, per il carico prevedibile di 100 Kg. di vento orizzontale, sono state previste per tensione di 750 Kg. con un margine notevole di sicurezza (grado di sicurezza 7). La pilastrata centrale lascia intervallo di m. 2 fra coppia e coppia di tubi.

Nella tettoia minore la pilastrata centrale classica è stata sostituita da una doppia trave tipo Vierendel con campata di m. 4 che permette agevole passaggio fra l'una e l'altra campata.

La tettoia minore è invece ricoperta metà in tegole marsigliesi e metà in eternit. Le funi sono ad interasse di m. 1 e la tensione di lavoro della fune sotto il carico di vento è di 1000 Kg.

Tanto la tettoia grande quanto la minore sono rivestite di pareti in lamiera da 4/10 e 8/10 fissate contro i tubi da doppia funicella di acciaio (unica) da 8 mm. di diametro, che avvolge e forza le pareti.

In queste tettoie sono poi stati sperimentati due tipi di finestre smontabili di minimo ingombro.

Il montaggio di questo manufatto sperimentale malgrado i vari perditempo dovuti a montaggi, rimontaggi e prove, ben comprensibili in una costruzione di carattere completamente nuovo, ha richiesto solo giornate 1,2 di operaio per mq. con personale che solo alla fine della costruzione aveva raggiunto un po' di addestramento.

I vari tipi di morsetti, staffe, ecc., elementi indispensabili per queste costruzioni pensili, sono rappresentati nelle figure.

Il tipo di costruzione realizzato non si può dire debba essere quello finale. Nel costruirlo sono emersi vari elementi che porterebbero a qualche variante nel caso che la costruzione dovesse ripetersi. Una molto importante riflette l'interasse tra le funi: il fatto di *non* averle disposte fin dall'inizio ad interasse multiplo di quello delle onde ha portato alla necessità di ripieghi e di perditempi.

La tettoia è stata investita da forte vento mentre non erano ancora eseguite le pareti laterali ed ha resistito vittoriosamente anche alla sottopressione dimostrando solo la necessità di ancorare la mezzaria delle funi esterne per evitare le oscillazioni.

Appena ultimata, ha poi subito il collaudo del nubifragio che ha investito Roma nell'ultima settimana di settembre e qui si è palesata la necessità che la sovrapposizione delle lamiere non sia limitata alle sole mezze onde estre ma ad un'onda e mezzo.

IX — CONCLUSIONE

Nella esposizione fatta abbiamo cercato di volgarizzare al massimo la questione in modo da renderla accessibile anche ai non tecnici.

Di proposito si sono appena accennati alcuni argomenti che possono avere una certa influenza nel calcolo delle strutture. Intendiamo riferirci alla maggiore tensione delle funi in corrispondenza del colmo e all'influenza della temperatura sulla tensione stessa.

Sappiamo che chi dovrà realizzare queste strutture non mancherà di tenerne conto e se si tratterà di costruzioni militari normalizzate vi saranno certamente, nelle relative istruzioni pratiche d'impiego, le disposizioni ed i dati necessari perchè il montaggio fornisca una struttura idonea alla località d'impianto ed in ogni stagione.

Inoltre, per non allungare troppo l'esposizione, abbiamo appena sfiorato quanto concerne le possibili applicazioni civili: riteniamo però nostro dovere richiamare l'attenzione di chi legge sulla grande utilità che questi manufatti offrono in caso di calamità pubbliche (come inondazioni, terremoti, bombardamenti con vasti incendi) e cioè quando urge dare in poco tempo un qualsiasi tetto a masse di persone e di cose. Questioni queste che interessano la difesa civile della Nazione e le relative predisposizioni.

Nell'affrontare questo problema ci eravamo essenzialmente prefissi di richiamare l'attenzione della massa dei costruttori, specialmente militari, su di una possibilità che se non è nuova, è stata forse ingiustamente trascurata.

Vogliamo sperare che le brevi note esposte riescano a richiamare l'attenzione dei costruttori e segnino l'inizio di una specialità costruttiva nuova. A questa non si può negare già fin d'ora il carattere di massima economia e rapidità di esecuzione.

LOCALIZZAZIONE DI SORGENTI SONORE AEREE MOBILI MEDIANTE LA VARIAZIONE DI FREQUENZA PER L'EFFETTO DOPPLER

Gen. di brig. Paolo Supino

Studi come il presente saggio costituiscono indagini teoriche, ma possono anche essere utili indirizzi verso possibili realizzazioni.

E' da augurare che la teoria sia suffragata dall'esperienza, in vista di quelle attuazioni pratiche che le conclusioni dell'A. lasciano intravedere.

N. d. R.

CAPITOLO I

PREMESSA

1. - La determinazione della posizione di un aereo in volo in circostanze di imperfetta o nulla visibilità (distanza, nebbia, oscurità) è un problema tecnico la cui risoluzione presenta considerevole interesse per il traffico aereo in generale e per la difesa contraerei in particolare.

Il problema si è inizialmente presentato nel campo militare sin dal primo impiego bellico degli aerei (1914) e per quanto ha tratto alla difesa contraerei la soluzione è stata ricercata in un primo tempo nella utilizzazione dei fenomeni sonori connessi col volo (motori, eliche, ecc.).

Il cosiddetto « ascolto contraerei », avente per scopo di condurre efficaci azioni d'intercettazione col fuoco o con aerei, si basò allora sulla individuazione di posizioni di massima di appositi sistemi meccanico-acustici raccoglitori dei suoni e rumori aerei, gli ascoltatori contraerei.

L'ipotesi posta a base del procedimento d'ascolto era che l'asse del sistema passa per l'obiettivo sonoro (punto passato d'aereo) allorchè si avverte la massima intensità di ricezione del suono obiettivo.

L'accoppiamento di un sistema di ricerca in zenit e di un sistema di ricerca in azimuth era teoricamente in condizione di definire le coordinate

angolari del raggio posto d'ascolto-punto passato d'aereo. L'impiego di due o più dispositivi del genere serviva a determinare per intersezione il punto obiettivo.

Il procedimento è giusto in linea concettuale, ma i dati relativi risultano affetti da considerevoli *errori accidentali* che derivano da molteplici cause, delle quali hanno particolare rilievo:

1) le dimensioni considerevoli delle caustiche focali delle superfici riflettenti (specchi acustici) degli ascoltatori contraerei, per effetto della diffrazione sonora.

Le lunghezze delle onde sonore, nel campo dei suoni udibili, variano da alcune decine di metri ad alcune decine di centimetri, in altre parole sono dello stesso ordine di grandezza delle superfici riflettenti.

In queste circostanze il fenomeno di diffrazione si presenta in misura imponente come fatto normale;

2) gli effetti di disturbo dei rumori parassiti, tanto più nocivi quanto maggiori sono le difficoltà derivanti dal voler aumentare la sensibilità degli apparati d'ascolto, quanto più elevato e irregolare è il regime del vento e quanto più intenso è il frastuono delle attività di ogni genere che si svolgono entro il raggio della portata dell'ascoltatore;

3) in linea secondaria, la propagazione non rettilinea dei raggi sonori in un mezzo imperfettamente omogeneo termicamente quale è di regola la bassa atmosfera (troposfera).

L'errore maggiore è dovuto al processo di interpolazione tra punto rilevato e punto di posizione attuale dell'aereo.

Di conseguenza gli angoli d'incertezza erano e sono ampi e i risultati d'individuazione acustica poco precisi e talora posti in maggior difficoltà dalla formazione di baricentri sonori, che si manifestano quando più aerei (formazioni aeree) vengono a trovarsi entro un angolo solido di piccola entità col vertice nel punto d'ascolto.

Per le cause accennate, non sono da ritenersi prevedibili risultati decisamente migliori e comunque soddisfacenti sinchè si proceda alla determinazione di posizione di aerei in volo mediante il puntamento di specchi acustici.

2. - Nei fatti, sin da 15-20 anni or sono, pur non abbandonando i procedimenti d'individuazione acustica utilizzati nel quadro delle loro effettive possibilità, essenzialmente in accoppiamento con proiettori fotoelettrici ai quali l'ascolto assegnava un campo limitato di ricerca e dai quali — investito l'aereo col fascio luminoso — il fatto era riportato alle modalità del tiro diurno, si cercò di sfruttare altri ordini di fenomeni e tra questi erano utilizzabili in via presuntiva i raggi infrarossi e le radiazioni elettromagnetiche.

E' evidente che le grosse potenze motrici installate a bordo degli aerei moderni, le quali superano di regola i 1000 cavalli e nei plurimotori anche i 10.000 cavalli, consentono di considerare gli aerei come grosse sorgenti di energia termica, che viene irradiata nello spazio sotto forma di radiazioni termiche o raggi infrarossi.

Un aereo che disponga della potenza di 10.000 cavalli eroga ogni secondo circa 15.000 calorie: per un occhio sensibile o sensibilizzato alle radiazioni infrarosse è una meteora di considerevoli dimensioni che non dovrebbe essere difficile individuare mediante apparecchiature adatte, utilizzando una tecnica già a punto.

Per quanto consta, questa linea non è stata sinora seguita, forse per i brillanti risultati conseguiti cogli echi elettromagnetici. I fenomeni termici connessi col funzionamento dei potenti motori di ogni tipo installati a bordo degli aerei sono stati invece presi in esame per la direzione di telebombe autoricercatrici d'obiettivo (*homing missiles*) e per l'attivazione di detonatori del tipo delle spolette di prossimità (*termical proximity fuzes*), allo scopo di realizzare dispositivi di azione contraerea nei quali il migliore rendimento sarebbe assicurato dall'impiego contemporaneo dell'autoricerca e dei detonatori di prossimità termici.

3. - Un successo veramente rimarchevole e largamente provato in guerra hanno invece incontrato i procedimenti di localizzazione degli aerei (come anche dei mezzi navali) basati sull'impiego di fasci di onde elettromagnetiche ultracorte (onde metriche, decimetriche e centimetriche).

Apposite apparecchiature riproducono gli echi provocati dall'incontro del fascio d'onde cogli aerei in volo e consentono l'immediata determinazione dei dati metrici angolari e di distanza con un'altissima precisione (*Radio Detecting And Ranging* o *RADAR*).

I dispositivi *Radar* e quelli che ne sono stata la derivazione, installati su postazioni terrestri fisse o mobili o sugli aerei, rappresentano anche oggi dopo un decennio dalle prime applicazioni belliche procedimenti di alta efficacia, atti inoltre, come la pratica ha dimostrato, a costituire la base di organizzazioni perfettamente rispondenti per guidare da terra il volo degli aerei in circostanze di imperfetta visibilità.

Per quanto ha riguardo all'impiego dei radar e loro derivati nella difesa contraerei sono già stati applicati e verosimilmente potranno essere ulteriormente perfezionati procedimenti di parzializzazione come i dispositivi di « *jamming* » o di « *Störung* » posti in atto durante la recente guerra mondiale. Detti dispositivi applicano due ordini di tecniche distinte: il disturbo mediante la generazione di campi elettromagnetici di adatte caratteristiche; la creazione di ombre elettromagnetiche in zone del tutto diverse da quelle nelle quali operano le formazioni aeree effettive, mediante l'im-

piego di sistemi tipo « *window* » o analoghi, colla finalità di generare incertezze sostanziali e di porre in grave difficoltà l'azione della difesa contraerei.

Non si può pertanto escludere che anche il *Radar* abbia trovato e ancor più possa trovare in avvenire contromisure efficaci. L'importanza del procedimento di ricerca e di puntamento non ne viene diminuita, ma acquistano interesse tutti i procedimenti sussidiari che potranno essergli affiancati per entrare immediatamente in azione in caso di parzializzazione più o meno intensa dei dispositivi *Radar* e che non è conveniente escludere « a priori » essere atti a un impiego a se stante per pregi intrinseci di rendimento, semplicità di mezzi e d'operazione, economia, ecc.

Si ritiene, in questa linea di concetti, di qualche utilità l'esame delle possibilità offerte in argomento da un complesso di fenomeni differenti da quelli sinora citati e, per quanto consta, non ancora utilizzati in pratica ai fini del puntamento al suono, complesso di fenomeni legato all'*effetto Doppler*.

L'effetto Doppler, come è noto, affetta la frequenza dei suoni e ultrasuoni emessi da sorgenti sonore mobili, come caso particolare di una fenomenologia estesa a tutti i fenomeni ondulatori sia in mezzi elastici (ad es., aria), sia nel vuoto (ad es., radiazioni elettromagnetiche: onde radio p.d., radiazioni infrarosse, luminose, ultraviolette ecc.) e ha già avuto importanti applicazioni in campi disparati delle scienze fisiche, dall'astrofisica all'acustica.

CAPO II

ACUSTICA DEI SUONI DEGLI AEREI IN VOLO

4. - *L'effetto Doppler in acustica.* — L'effetto Doppler costituisce un fenomeno generale nella meccanica delle radiazioni. Esso è stato ampiamente studiato ed il suo studio ha dato importanti risultati.

In acustica si manifesta nei seguenti termini: se una sorgente sonora in movimento si avvicina e poi si allontana da un ascoltatore, questi constata al passaggio del mobile — cioè nell'istante in cui il mobile, dopo essersi avvicinato al massimo, comincia ad allontanarsi — un abbassamento del suono percepito.

Lasciando da parte la trattazione analitica del fenomeno, d'altronde svolta in tutti i trattati di fisica, importa constatare il fatto che la sorgente sonora mobile ha assunto per l'ascoltatore, in conseguenza del moto che l'anima, una *frequenza apparente* differente da quella effettiva del suono emesso (*frequenza effettiva*).

La frequenza apparente non è eguale per tutti gli ascoltatori, comunque disposti nello spazio intorno alla sorgente sonora mobile, perchè come sarà

più diffusamente detto in seguito, è funzione della posizione dell'ascoltatore rispetto al punto istantaneo occupato dalla sorgente sonora. Per il momento la constatazione vale a giustificare la denominazione di frequenza o altezza soggettiva che viene talora attribuita alla frequenza apparente.

Per una sorgente sonora che si sposti secondo una retta passante per il punto occupato dall'ascoltatore (punto d'ascolto), la frequenza apparente, ritenuta costante la velocità del suono nell'aria, è funzione della velocità della sorgente sonora mobile.

L'altezza del suono percepito si eleva, cioè la frequenza apparente è maggiore di quella effettiva, quando la sorgente sonora si avvicina; l'altezza del suono diminuisce, cioè la frequenza apparente è minore di quella effettiva, quando la sorgente sonora si allontana.

Quantitativamente l'effetto Doppler si manifesta secondo la formula

$$N' = N \cdot \frac{a}{a - V} \quad [4.1]$$

nella quale N' è la frequenza apparente, N la frequenza effettiva, a la velocità del suono nell'aria al momento dell'esperienza, V la velocità della sorgente sonora mobile, considerata positiva nei moti d'avvicinamento ($a - V$), negativa nei moti d'allontanamento ($a + V$).

La formula [4.1] si riferisce ovviamente al caso che l'ascoltatore sia immobile, il solo preso in considerazione nella presente memoria.

5. - *Caratteristiche acustiche dei suoni degli aerei.* — Un aereo in volo costituisce una sorgente sonora mobile di caratteristiche acustiche definite, per quanto la fenomenologia sonora durante il volo degli aerei sia molto complessa.

Il suono obiettivo emesso da un aereo è la componente dei suoni e rumori generati dai motori, dalle eliche e dall'intera struttura dell'aeromobile sotto l'azione delle forze, periodiche e aperiodiche, che la sollecitano durante il volo.

La teoria fa prevedere, e la pratica conferma, che in dipendenza dell'accennata complessità del fenomeno, i suoni degli aerei sono costituiti da una frequenza fondamentale e da numerose armoniche, che ne originano il timbro caratteristico per ciascun tipo d'aereo.

Nell'ambiente fisico della bassa atmosfera e in vicinanza del suolo, frequenza fondamentale e armoniche, congiuntamente con fenomeni d'eco e d'interferenza acustica, danno origine al « rombo » degli aerei in volo.

Altri due fenomeni che si presentano nell'ascoltazione degli aerei in volo sono il cosiddetto « rinforzo aperiodico » del suono obiettivo e un « rinforzo periodico », presentato sovente da apparecchi plurimotori.

Entrambi danno luogo a variazioni considerevoli d'intensità sonora che non sono in rapporto con variazioni di distanza e quindi con aumenti o diminuzioni di energia sonora. Il rinforzo aperiodico sarebbe dovuto a interferenze tra le vibrazioni sonore che giungono direttamente all'orecchio e quelle che vi giungono in ritardo, dopo essere state riflesse da ostacoli (accidentalità del suolo) o deviate da inomogeneità della bassa atmosfera. Il rinforzo aperiodico avrebbe nei precedenti termini qualche analogia col rombo o brontolio del tuono. Il rinforzo periodico sarebbe prodotto da battimenti lenti insorgenti da differenze normali di sincronismo nel funzionamento dei motori.

6. - *I suoni dei motori.* — Lo spettro di frequenze di un rumore aereo è molto esteso, perchè va da poche decine ad alcune migliaia di cicli-secondo (hertz = Hz.), ma si restringe in modo considerevole se si considerano le frequenze sulle quali è dissipata la maggior parte dell'energia sonora in ginoco e che pertanto si prestano meglio all'ascolto.

Esse sono costituite dalle frequenze fondamentali emesse dai motori e in qualche caso dalle eliche, i cui valori sono compresi, in linea d'ordine di grandezza, tra 1/10 e 1 kHz. (kilohertz).

In particolare il suono dei motori, prodotto dalle pulsazioni che si succedono regolarmente allo scappamento e come tale funzione del numero dei cilindri e dei giri di ciascun motore nell'unità di tempo (quantitativamente, per motori a scoppio a quattro tempi, la frequenza di dette pulsazioni è data dal semiprodotto del numero dei cilindri e dei giri al 1'') presenta negli attuali complessi multicilindri a grande velocità angolare frequenze fondamentali da 200 a 600 Hz.

Il suono delle eliche, funzione della velocità angolare e del numero delle pale, ha frequenze fondamentali più basse e talune armoniche di considerevole intensità più elevate di quello del motore ma, quel che più conta, presenta intensità sensibilmente inferiori.

Pertanto l'ascolto delle frequenze aeree deve di regola orientarsi, sinchè saranno impiegati comunemente gli attuali motori e non entreranno in linea dispositivi silenziatori, sui suoni fondamentali dei motori, cioè su frequenze della 2^a e 3^a ottava.

Queste frequenze possono essere meglio definite prendendo in esame alcuni modernissimi motori d'aeroplano.

Nel quadro dei motori impiegati negli aerei adibiti a voli transcontinentali con ingenti carichi, si hanno i seguenti dati:

Il motore Wasp-Mayor di Pratt & Whitney, che equipaggia gli « Stratoclippers », di 2650 HP. per unità, con 28 cilindri e 2550 giri al 1' a regime: la nota fondamentale è di 595 Hz., cioè a un dipresso un re della 3^a ottava;

II) motore Double Wasp di Pratt & Whitney, che equipaggia i Douglas DC6 (DAKOTA), di 1800 HP. per unità, con 18 cilindri e 2600 giri al 1' a regime: la nota fondamentale è di 390 Hz., cioè a un dipresso un sol della 2^a ottava;

III) motore Wright Cyclone di Wright, che equipaggia i Loockeed 649A, di 2100 HP. per unità, con 18 cilindri e 2400 giri a regime: la nota fondamentale è di 360 Hz., tra un fa e un sol della 2^a ottava.

A titolo di confronto si riportano gli analoghi dati relativi ad alcuni vecchi motori d'aviazione italiani:

IV) motore Alfa 125 R.C. FIAT, già montato sugli apparecchi S.81, di 500 HP., con 9 cilindri e 2200 giri a regime normale: la frequenza fondamentale è 165 Hz., che corrisponde a un dipresso a un mi della ottava antecedente alla 1^a centrale;

V) motore Asso FIAT, del quale erano muniti gli apparecchi della cosiddetta « Crociera del Decennale », di 750 HP., con 18 cilindri e 1600 giri al 1' a regime: la frequenza fondamentale è di 240 Hz., corrispondente a un dipresso a un si della 1^a ottava centrale.

I precedenti dati consentono di constatare la nota tendenza dei progettisti moderni di realizzare, oltre che complessi motori più potenti, maggiori velocità angolari e maggior numero di cilindri. Le note fondamentali di siffatti motori si elevano, implicitamente a favore dell'entità quantitativa dell'effetto Doppler, come sarà meglio chiarito in seguito.

I dati di frequenza citati erano esplicitamente riferiti al regime normale dei motori. Come è ovvio il regime dei motori d'aeroplano non è costante durante il volo ma soggetto a variazioni accidentali imposte dalle esigenze di manovra in volo degli aerei. Le variazioni di regime si traducono in aumenti e diminuzioni del numero dei giri nell'unità di tempo (1') e comportano modificazioni nell'altezza del suono emesso.

Queste modificazioni sono per altro di entità limitata. In effetti il numero dei giri non deve superare i massimi di tolleranza nè può discendere al disotto di determinati valori minimi, oltre i quali scade rapidamente il rendimento e lo sforzo reso dai motori.

Massimi di tolleranza e valori minimi sono dell'ordine del 5 % dei valori normali e gli aumenti e le diminuzioni delle frequenze non superano di regola il 5 % delle frequenze in regime normale. Quanto affermato vale in particolare per gli apparecchi pesanti, con forte carico e investiti di missioni ben definite nel tempo e nello spazio.

Riferendosi ai motori sopra citati, nei tre tipi americani lo scarto massimo di giri non supera di norma, nell'ordine, i 150, 200 e 400 giri al 1'

e la variazione di frequenza corrispondente, come è facile verificare, è del 5,9 - del 7,7 e infine del 17 %, ma essa si verifica esclusivamente alla partenza.

Riferendosi ai due motori nazionali, il massimo di tolleranza è di 100 giri per l'Alfa 125 R.C. FIAT, di 150 giri per l'Asso FIAT. In pratica le differenze di regime in più o in meno possono oscillare sui 50-70 giri. Lo scarto di frequenza per variazioni di regime ± 100 giri al 1' è rispettivamente di 7 e 14 Hz. in valore assoluto, del 4 % e del 5,7 % in valore percentuale.

Le variazioni di frequenza di manovra presentano tanto minore entità quanto maggiore è la velocità angolare a regime normale. Le attuali tendenze verso elevati numeri di giri tendono a rendere più stabili le frequenze dei suoni emessi dai motori durante il volo, specie in crociera.

Ma quel che è più interessante mettere in rilievo è che in ogni circostanza gli scarti di frequenza provocati dalle esigenze di regolazione dei motori hanno entità da cinque volte a molte decine di volte minore degli aumenti e delle diminuzioni di altezza dovute all'effetto Doppler, come viene accertato al n. 7.

7. - *Variazioni di frequenza nei suoni degli aerei per effetto Doppler.* — L'ordine di grandezza delle variazioni di frequenza che l'effetto Doppler provoca nei suoni degli aerei, si valuta calcolando l'intervallo tra frequenza apparente e frequenza effettiva.

Dalla [4.1] si ha

$$\frac{N'}{N} = \frac{1}{1 - \frac{V}{S}} \quad [7.1]$$

Detta variazione, o intervallo, è indipendente dal valore della frequenza effettiva ed è superiore o inferiore all'unità ($N' \geq N$) secondo che V è positiva (rotta di avvicinamento) o negativa (rotta d'allontanamento). E' inoltre evidente che cresce coll'aumentare della velocità dell'aereo.

La velocità del suono nell'aria è variabile in funzione della temperatura, della pressione e del contenuto di altri gas, essenzialmente vapore acqueo e anidride carbonica. Essa è inoltre influenzata dal moto eventuale dell'aria (vento).

Ma in un'analisi orientativamente quantitativa si può assumere un valore medio pari a 340 m.sec. ($a = 340$). Se allora si assumono per V otto distinte velocità variabili di 100 in 100 km./ora da 150 a 850 km./ora tra le quali possono ritenersi comprese largamente tutte le velocità di crociera

di moderni apparecchi, i valori max. e min. di N'/N possono riassumersi come sono riportati nella seguente tabella:

V (km. ora)	V/a	$N'/N(-V)$	$N'/N(+V)$	$N'_{\max.} - N_{\min.}$
150	0,127	1,140	0,880	0,260
250	0,204	1,257	0,830	0,427
350	0,286	1,405	0,777	0,628
450	0,368	1,582	0,732	0,850
550	0,450	1,817	0,688	1,129
650	0,531	2,135	0,653	1,482
750	0,612	2,579	0,620	1,959
850	0,655	3,281	0,590	2,691

Per una frequenza media arbitraria dell'ordine già rilevato, ad es. di 200 Hz., gli intervalli tra le frequenze apparenti massima e minima assumono, per le velocità tipiche prese in esame, i valori di 52 - 85 - 125 - 170 - 226 - 296 - 392 e 538 Hz. in assoluto e in valori percentuali 26 - 42 - 62 - 85 - 116 - 148 - 196 e 269 %. Calcolando le percentuali dei soli scarti di frequenza dalla frequenza fondamentale che si registrano in rotte d'avvicinamento si hanno ancora per le accennate velocità tipiche 14 - 26 - 40 - 58 - 81 - 113 - 157 e 228.

Detti valori corrispondono a minimi di $1/7$ di ottava a massimi di 2 ottave $1/4$, i valori più elevati essendo effetto delle velocità più elevate.

Si è in presenza di variazioni di frequenza molto elevate, le quali mentre da un lato sono senza confronto superiori a quelle provocate da normali operazioni di regime dei motori, superano di gran lunga i minimi di registrazione degli ordinari procedimenti frequenzimetrici e ciò costituisce una constatazione importante ai fini dell'applicazione pratica di procedimenti di ascolto basati sull'utilizzazione dell'effetto Doppler.

Un altro accertamento può farsi agevolmente sulla base dei precedenti dati quantitativi d'orientamento, a conferma del fatto intuitivo che col crescere della velocità della sorgente sonora mobile la variazione di frequenza diviene sempre più imponente nel caso molto interessante ai fini pratici di una rotta d'avvicinamento o rotta d'attacco.

In effetti, esperienza e calcolo dimostrano che, elevandosi la velocità della sorgente sonora, la frequenza apparente diviene sempre più alta sino a divenire ultraudibile nei pressi del punto critico corrispondente alla velocità del suono nell'aria.

Nell'intorno di questo punto limite il fenomeno cessa di manifestarsi nel senso sin qui avuto presente, perchè la sorgente sonora si avvicina — sempre nel caso obiettivo di una rotta d'avvicinamento — colla stessa rapi-

dità del suono e successivamente, con ulteriore aumento della velocità, giunge prima del suono.

Per contro, nel caso di rotta d'allontanamento, la frequenza apparente tende gradualmente a un valore metà della frequenza effettiva, valore che raggiunge in corrispondenza dell'accennato punto limite che in aerotecnica suole talvolta denominarsi « muro sonico » e continua a decrescere verso frequenze sempre più basse coll'aumento della velocità d'allontanamento.

8. - *Variazioni di frequenza e dati di posizione.* — Gli scarti di frequenza calcolati al numero precedente, corrispondono per ipotesi (n. 4) al caso che la sorgente sonora mobile si avvicini o si allontani nei riguardi del punto d'ascolto secondo una rotta rettilinea passante per il punto d'ascolto stesso.

Se per contro questa condizione di moto relativo non risulta verificata, l'ordine metrico del fenomeno presenta interessanti modificazioni.

La frequenza apparente è originata dal fatto che all'ascoltatore giungono onde sonore intervallate anzichè dei tempi corrispondenti al periodo della frequenza effettiva, da tempi diminuiti o aumentati secondo gli incrementi di tempo (positivi o negativi) equivalenti agli spazi percorsi in ciascun periodo del fenomeno acustico dalla sorgente sonora in movimento.

La causa della variazione di frequenza avvertita dall'ascoltatore risiede nella variazione di distanza relativa che al termine di ciascun periodo viene a stabilirsi tra sorgente sonora mobile e punto d'ascolto.

Di conseguenza, mentre si registra un massimo della variazione di frequenza nel caso di moto lungo una retta passante per il posto occupato dall'ascoltatore perchè in questo caso si verifica la massima variazione di distanza relativa in ciascun periodo, nessuna variazione è avvertibile nel caso di un moto che non alteri detta distanza — ad es. se la sorgente sonora si muove lungo un arco di cerchio il cui centro coincida col punto d'ascolto — e in tutti i casi intermedi tra i due estremi citati *le variazioni di frequenza soggettivamente percepite sono funzione del solo spostamento della sorgente sonora lungo il raggio aereo-posto d'ascolto.*

In altre parole il fenomeno obiettivo si manifesta come effetto della sola componente radiale della velocità effettiva del mobile sonoro e poichè la grandezza di questa componente è data dal prodotto $V \cdot \cos \alpha$ (α è l'angolo che il raggio aereo posto d'ascolto forma colla direzione istantanea della velocità dell'aereo al momento dell'esperienza), le precedenti considerazioni consentono di stabilire una forma più generale della [4.1], valida per qualsiasi direzione di movimento della sorgente sonora obiettiva rispetto al posto d'ascolto:

$$N' = N \cdot \frac{a}{a - V \cdot \cos \alpha} \quad [8.1]$$

9. - La discussione della [8.1] consente di affermare che N' varia con continuità per effetto di una variazione continua di α entro i limiti max. e min. offerti da $\cos \alpha = +1$, cioè $\alpha = 0^\circ$ ($N'_{\max}$ - rotta d'avvicinamento o d'attacco) e da $\cos \alpha = -1$, cioè $\alpha = 180^\circ$ ($N'_{\min}$ - rotta d'allontanamento o di caccia), nel mentre $N' = N$ quando $\cos \alpha = 0$, cioè $\alpha = 90^\circ$.

La continuità della variazione di N' assicura che, dati i valori di N , V ed a relativi a ogni caso concreto, per ogni valore di α esiste un unico e determinato valore di N' e reciprocamente per ogni valore di N' esiste un valore di α determinato a meno di 2π , multipli di tal forma non presentando interesse nella risoluzione del problema di cui trattasi.

Il valore di α è immediatamente deducibile dalla [8.1] che risolta in $\cos \alpha$ e tenuto conto del segno della funzione coseno nei differenti quadranti dà:

$$\cos \alpha = \mp \frac{a}{V} \cdot \left(\frac{N}{N'} - 1 \right) = \pm \frac{a}{V} \cdot \left(1 - \frac{N}{N'} \right) \quad [9.1]$$

nella quale il segno $+$ si riferisce al caso d'avvicinamento, il segno $-$ a quello d'allontanamento.

Nei precedenti termini risulta determinato l'angolo che la tangente alla traiettoria percorsa dalla sorgente sonora mobile (rotta dell'aereo), nel punto occupato nell'istante origine del suono (punto passato d'aereo), forma col raggio aereo-posto d'ascolto.

Se si assume un sistema di coordinate polari piane con polo nel punto passato d'aereo e con asse polare coincidente col raggio aereo-posto d'ascolto (raggio vettore istantaneo), il valore α determinato dalla [9.1] dà la direzione istantanea del moto aereo, colla sola incertezza dei valori simmetrici rispetto all'asse polare, entrambi idonei a soddisfare l'eguaglianza.

L'incertezza può essere eliminata in ogni caso concreto mediante la discussione dei dati sperimentali (n. 23).

10. - *Grafici delle linee alfa- N'* . — La ripetuta applicazione della [9.1] consente di tracciare grafici che esprimono la legge di variazione di N' in dipendenza della variazione di α e viceversa. Detti grafici possono essere utilizzati per un'esauriente indagine della legge di variazione delle frequenze in funzione delle variazioni formate dalla direzione (istantanea) della rotta col raggio vettore istantaneo (grafici delle linee *alfa- N'*).

Poichè nella [9.1] sono presenti oltre alle accennate variabili altre due variabili N e V , ove si prescinda come già convenuto dalle variazioni cui è soggetta la velocità del suono nell'aria, occorre stabilire determinati valori di N e V e per ogni coppia N - V calcolare i valori di N' corrispondenti ad α .

E' evidente che si perviene nei precedenti termini alla costruzione di famiglie di curve (per ogni valore di N), nelle quali ogni curva corrisponde a un determinato valore di V : si tratta di curve cosinusoidali, cioè trascendenti periodiche, con periodo $0^\circ-360^\circ$ (fig. 1).

Aspetto tipico di una linea " α , N ,"

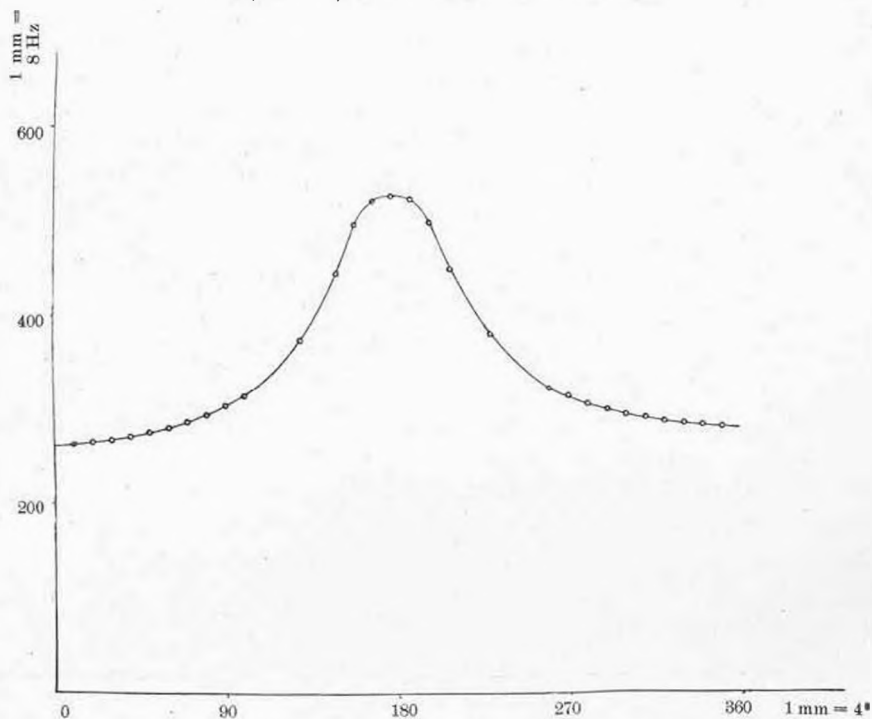


Fig. 1.

Il ramo di ogni curva compreso tra 0° e 180° fornisce l'intera legge di variazione delle N' .

Da osservare che:

1) le linee « α - N' » sono curve simmetriche in ogni ciclo all'ascissa di 180° (o n. multiplo), con massimi e minimi distinti in corrispondenza delle ascisse di 0° e 180° e due flessi comuni a tutte le curve di ciascuna famiglia, in corrispondenza delle ascisse di 90° e 270° .

Massimi e flessi definiscono quattro rami di curva in ciascun ciclo.

Dal punto di vista analitico le curve sono indefinite e si ripetono identicamente per valori angolari multipli di 2π . Dal punto di vista fisico interessano esclusivamente i rami del primo ciclo ($0^\circ-360^\circ$), dei quali per di

più, per l'accennata caratteristica di simmetria, basta aver presenti quelli compresi tra 0° e 180° ;

2) le curve in esame presentano raggi di curvatura rapidamente crescenti tra massimi e minimi contigui, ovviamente con un massimo assoluto in corrispondenza dei punti di flesso.

Il gradiente di frequenza in funzione di incrementi prestabiliti dei valori angolari è generalmente elevato e lo è in maggior misura nei rami 90° - 180° (moto d'avvicinamento) che nei rami d'allontanamento (1° - 90°) (1);

3) i valori per il tracciamento per punti delle linee « *alfa-N'* » sono riportati dalla tab. 1. Sulla loro base sono state tracciate le famiglie di curve. Le scale metriche adottate hanno modulo tale da consentire l'agevole lettura dei minimi apprezzabili con apparecchiature ordinarie: 2 Hz. = 1 mm.; 1° = 1 mm. (tav. I).

Ogni curva si riferisce a una velocità tipica, scalata di 100 in 100 da 150 a 850 Km./ora; le famiglie di curve sono pertinenti alle quattro frequenze di 200, 300, 400 e 500 Hz. (frequenze effettive).

Gli accennati valori includono tutti i casi pratici, perchè per velocità e frequenze differenti da quelle assunte si può procedere con interpolazione. Infatti nei limiti di scarto di velocità tra curve contigue incrementi di frequenze e incrementi di profondità possono ritenersi proporzionali;

4) dagli accennati documenti possono trarsi i dati per un apprezzamento quantitativo di carattere orientativo.

Si legge infatti:

— per $N = 500$, i gradienti variano da 1 a 4,8 Hz. nel caso di velocità d'allontanamento e da 1,1 a 8,2 Hz. nel caso di velocità d'avvicinamento per velocità variabili entro i limiti accennati;

— per $N = 200$, i gradienti variano da 0,3 a 1,7 Hz. nel caso di velocità d'allontanamento e da 0,5 a 3,5 Hz. nel caso di velocità d'avvicinamento, sempre tra i citati limiti di velocità;

— tra i valori estremi sono compresi i valori relativi a frequenze e velocità intermedie.

(1) Per la misura degli angoli è opportuno adottare un sistema di assi ortogonali di riferimento con origine nel punto d'aereo, uno degli assi essendo coincidente colla congiungente punto d'aereo-punto d'ascolto.

Il sistema di assi individua quattro quadranti, nei quali i fenomeni obiettivi si ripetono due a due (le coppie sono costituite dai quadranti da bande opposte rispetto all'asse coincidente colla congiungente citata) per effetto di simmetria.

E' quindi lecito limitare la casistica ai due quadranti NW e SW (o ai due simmetrici NE e SE): il primo contiene tutti gli angoli relativi a rotte d'avvicinamento; il secondo tutti gli angoli relativi a rotte d'allontanamento.

Colla convenzione di leggere gli angoli in senso orario, gli angoli d'allontanamento sono compresi tra 0° e 90° , quelli d'avvicinamento tra 90° e 180° .

Da notare che i valori più elevati sono pertinenti a velocità e in linea subordinata a frequenze più elevate:

5) l'elevato gradiente di frequenza consente determinazioni angolari abbastanza precise sulla base della registrazione delle frequenze apparenti e quindi favorisce eventuali applicazioni pratiche.

Per i casi che più interessano, le rotte d'avvicinamento, i gradienti citati consentono, coll'impiego di apparecchiature atte a determinare le frequenze apparenti a meno di 1 Hz., di effettuare rilevamenti angolari coll'approssimazione teorica di $15'-7'$.

11. - L'importanza della registrazione delle frequenze apparenti di suoni provenienti da aeromobili, ad opera di posti d'ascolto fissi, si mette in piena luce se si pone mente al fatto che colla formula [8.1] e la [9.1] che ne è dedotta, supposte note la velocità dell'aeromobile e la frequenza effettiva del suono emesso, l'apprezzamento di una frequenza si traduce in un dato di posizione, il parametro angolare della direzione istantanea del moto obiettivo colla congiungente punto d'aereo-punto d'ascolto (fig. 2).

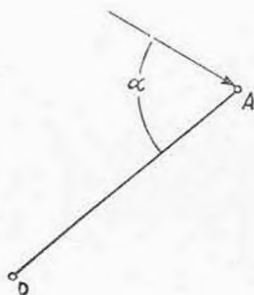


Fig. 2.

Nel Capo che segue (III) si analizzeranno le modalità colle quali questo dato di posizione potrà essere utilizzato. Ma sin d'adesso è consentito affermare che per effetto della conoscenza di questo valore angolare i risultati dell'ascolto possono tradursi in elementi metrici utili alla individuazione di un punto passato d'aereo e alla sua localizzazione nello spazio e nel piano topografico.

Se si aggiunge che individuazione e localizzazione si realizzano con una precisione dell'ordine richiesto da usi pratici, come sarà ampiamente dimostrato più oltre, se ne deduce un'ulteriore conferma dell'effettivo valore intrinseco dei procedimenti illustrati colla presente nota.

CAPO III

PROCEDIMENTI DI DETERMINAZIONE DI POSIZIONI AEREE
COL SUONO

12. - *Considerazioni generali.* — La determinazione di posizioni aeree mediante il suono (punto passato d'aereo = p. p. d'a.) è un problema d'individuazione di un punto obiettivo nello spazio risolubile in base alla valutazione degli angoli « *alfa* ».

Il problema è tipicamente spaziale ma acquista pregevoli caratteristiche di semplicità se trasferito nel piano, il che può farsi in linea di approssimazione. Individuato il punto obiettivo sul piano si risale alla posizione nello spazio.

Il trasferimento dallo spazio al piano si opera per proiezione. Assunto come piano di proiezione quello di due posti d'ascolto (= p. d'a.), ritenuti per il momento giacenti nello stesso piano orizzontale, e come centro di proiezione lo zenit, sussiste tra elementi geometrici nello spazio e le loro proiezioni sul piano una relazione di affinità ortogonale (a centro improprio) che non altera i rapporti di dimensione delle grandezze proiettate e pertanto mantiene immutati i rapporti delle distanze e di conseguenza dei tempi, sui quali si basa il concetto di contemporaneità delle registrazioni obiettive.

La risoluzione del problema proposto può seguire differenti vie: qui si prendono in esame tre procedimenti distinti, il metodo del triedro di posizione, il metodo dei cerchi di posizione e il metodo delle linee di eguale variazione di frequenza (linee isocicloanomale).

Gli accennati procedimenti presentano differenti caratteristiche di precisione, speditezza e praticità.

La loro legittimità è subordinata, oltre che al presupposto della registrazione contemporanea di più p. d'a., come garanzia di un determinato fenomeno obiettivo, al verificarsi delle seguenti condizioni:

— i posti d'ascolto giacciono in uno stesso piano orizzontale. In caso differente i dati ricavati dall'ascolto debbono essere corretti (n. 20);

— le rotte aeree si svolgono a quota costante, ipotesi che si può ritenere verificata in generale entro intervalli di tempo limitati e in particolare in presenza di aerei pesanti che assolvono missioni definite.

13. - *Metodi del triedro e dei cerchi di posizione.* — Il primo metodo si basa sul fatto che gli angoli « *alfa* » relativi a tre posti d'ascolto non allineati

individuano tre raggi istantanei i quali possono considerarsi gli spigoli di un triedro con vertice nel punto obiettivo.

Tracciati a partire da un punto arbitrario e da una origine comune tre raggi in ragione dei tre angoli « *alfa* » osservati, è evidente che i tre raggi debbono passare per i punti del piano che sono immagine dei p. d'a. (fig. 3).

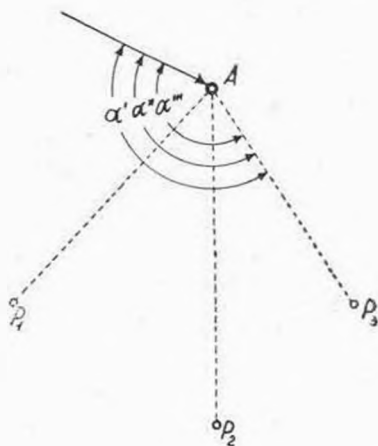


Fig. 3.

L'applicazione per tentativi di questa condizione di posizione, con qualche analogia col procedimento di autodeterminazione topografica di un punto di stazione, porta alla determinazione sul piano del p.p. d'a. che si identifica colla posizione che viene ad assumere la proiezione del vertice del triedro.

Una soluzione per tentativi non presenta le doti di precisione e di rapidità d'operazione che possono invece ripromettersi da un procedimento diretto, quale è il metodo dei cerchi di posizione.

Se si suppongono note V ed N come dati d'impostazione del problema e rilevate, come risultato della registrazione da un primo posto d'ascolto, due frequenze apparenti nonché l'intervallo di tempo che intercorre tra i due rilevamenti, è immediata la determinazione di due angoli « *alfa* » e dello spazio che intercorre tra i due p.p. d'a. obiettivi.

Ciò posto, nel triangolo che ha per vertice i due p.p. d'a. e il p. d'a-sono noti due angoli e il lato compreso — si prescinde evidentemente da una eventuale curvatura della rotta dell'aereo, come è lecito se la distanza tra i due p.p. d'a. è piccola, cioè se le corrispondenti registrazioni sono state effettuate a breve intervallo di tempo — e il triangolo risulta determinato. In par-

ticolare se ne possono calcolare i due lati costituiti dalle congiungenti p.p. d'a.-p. d'a.

Ciascun p.p. d'a. deve trovarsi sulla circonferenza con centro nel p. d'a. e raggio eguale alla congiungente corrispondente sopracitata (cerchio di posizione).

Se con procedimento analogo si procede a contemporanee registrazioni di frequenze apparenti utilizzando un secondo p. d'a., si possono calcolare altre due distanze p. d'a.-p.p. d'a. che assunte come raggi di cerchi aventi centro nel secondo p. d'a. individuano altre due circonferenze sulle quali debbono trovarsi del pari i due p.p. d'a.

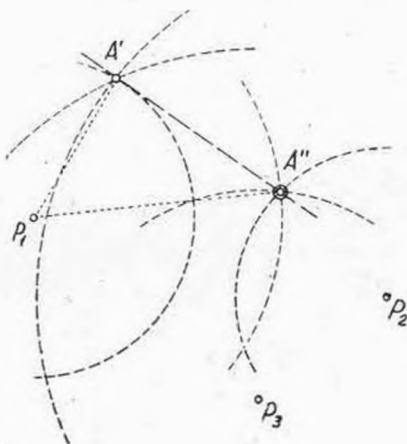


Fig. 4.

Per il fatto di appartenere a due circonferenze distinte intersecantisi, ciascuno dei punti obiettivi deve trovarsi nella intersezione di quelle (fig. 4).

In effetti ogni coppia di cerchi di posizione s'interseca in due punti, per ipotesi reali e distinti, simmetrici rispetto alla congiungente i due p. d'a., dei quali, come è ovvio, uno solo soddisfa quale soluzione del particolare problema d'ascolto.

Le soluzioni non idonee sono eliminate facendo intervenire i dati forniti da un terzo p. d'a., col quale è possibile individuare con eguale procedimento un terzo cerchio di posizione. Allora la posizione del p.p. d'a. obiettivo della ricerca è individuata dal baricentro del *minimo* triangolo curvilineo d'errore formato dalla intersezione dei tre cerchi di posizione aventi rispettivamente centro in ciascuno dei p. d'a. e per raggio le distanze p. d'a.-p.p. d'a.

14. - *Metodo delle linee di egual variazione di frequenza (linee isocicloanomale).* — Il metodo dei cerchi di posizione esige, sotto pena di errori grosso-

lani, una conoscenza la più esatta possibile degli effettivi valori di N e di V al momento del rilevamento acustico. Per contro in molte circostanze detti valori sono di accertamento disagiata e aleatorio.

E' quindi opportuno ricorrere a procedimenti che prescindano in più larga misura dalla conoscenza preliminare degli accennati valori.

A questo fine, in luogo delle frequenze apparenti ascoltate dai singoli p. d'a. si considerino le differenze delle frequenze ascoltate a mezzo di coppie di p. d'a. coniugati (basi d'ascolto); si vedrà che è possibile sostituire ai parametri angolari dei p. d'a. rispetto alla direzione istantanea del moto (n. 9) le anomalie angolari sotto le quali le basi d'ascolto sono viste dal punto sonoro mobile obiettivo (o, riferendosi al piano di proiezione, dalla sua proiezione su questo), corrispondenti alle differenze delle frequenze registrate.

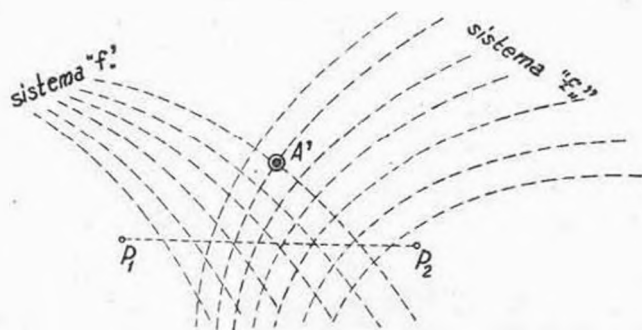


Fig. 5.

Si premette che le differenze delle frequenze apparenti registrate agli estremi delle basi d'ascolto sono ancora funzione della posizione relativa della sorgente sonora mobile rispetto alla base d'ascolto, ma l'interdipendenza dei due fatti acustico e di posizione consente in questo caso l'individuazione di linee particolari che si possono definire come il luogo dei punti dai quali una frequenza determinata (effettiva) è percepita agli estremi di una base d'ascolto con una differenza di frequenze di valore determinato (fig. 5).

Variando ordinatamente i valori delle differenze di frequenza si perviene alla individuazione, e se occorre al tracciamento, di un sistema di linee (linee di posizione), ciascuna delle quali corrisponde a una differenza di frequenza apparente prestabilita in sede di costruzione (sistema F' relativo alla base I).

Assumendo una seconda base d'ascolto e individuando e tracciando con eguali criteri e modalità un secondo sistema di linee di posizione (sistema F''

relativo alla base II), nel complesso si viene a realizzare sul piano di proiezione un reticolato curvilineo (di posizione) di utilizzazione intuitiva e immediata.

Infatti la posizione sul piano orizzontale della proiezione di un p.p. d'a. è determinata dalla intersezione della curva del sistema F'' relativa alla differenza di frequenza ascoltata agli estremi della base I colla curva del sistema F''' relativa alla differenza di frequenza ascoltata agli estremi della base II.

Le linee dei sistemi F'' ed F''' si chiamano isocicloanomale.

Nelle precedenti circostanze il rilevamento acustico è entro estesi limiti indipendente dai valori effettivi di N e di V , non tanto perchè sia rigorosamente esatto che le condizioni di posizione diano luogo a eguali differenze di frequenza qualunque siano frequenza e velocità effettive della sorgente sonora mobile, quanto perchè, come risulta dall'analisi dei rapporti tra variazioni di frequenza e variazioni angolari (n. 20) in funzione di valori effettivi differenti, l'apprezzamento di N e di V non è critico ed entra soltanto in linea d'ordine di grandezza nella definizione delle relazioni tra frequenze e parametri angolari che autorizzano a passare con precisione sufficiente dalle variazioni di frequenza alle anomalie angolari.

15. - Sarà più evidente tra breve l'opportunità di questo passaggio, ma è bene in via preliminare porre in luce la necessità d'integrare i dati forniti dall'esercizio delle basi ordinarie con quelli forniti da una terza base (III) o base sussidiaria.

Il rilevamento ha per obiettivi fenomeni istantanei, univoci e del tutto individuati e il suo risultato deve pertanto consistere nella determinazione di un solo p.p. d'a., a meno di errori sistematici e d'osservazione.

Pertanto se si costruisce sulla base sussidiaria, e in modo conforme a quello seguito nei riguardi delle basi ordinarie, un terzo sistema di linee di posizione F'''' è possibile sostituire alle intersezioni delle linee dei sistemi F'' ed F''' , quali strumenti del rilevamento acustico, i triangoli curvilinei determinati dai segmenti di linee dei tre sistemi e i rispettivi baricentri.

In conformità delle accennate considerazioni il rilevamento viene effettuato in definitiva mediante la determinazione delle intersezioni due a due delle linee di posizione dei sistemi F'' , F''' ed F'''' , relative alle differenze di frequenza ascoltate sulle basi I, II e sussidiaria, e la considerazione del triangolo curvilineo determinato da quelle intersezioni: nel di lui baricentro è la proiezione sul piano orizzontale del p.p. d'a. cui si riferisce la registrazione obiettiva.

In pratica conviene rinunciare al tracciamento delle linee isocicloanomale, che non è immediato, e a questo scopo si ricorre alla relazione che sussiste tra differenza di frequenza apparente e anomalia angolare, definita

coll'applicazione della [8.1]. L'accennata relazione consente di sostituire i sistemi « F » con sistemi di linee luogo dei punti dai quali le basi d'ascolto sono viste sotto angoli di valore determinato.

Ora nel piano passante per una base d'ascolto e un p.p. d'a. il luogo dei punti dai quali una lunghezza data — nella fattispecie la base di ascolto — è vista sotto un angolo di data apertura è la coppia di archi circolari simmetrici aventi per corda il segmento base d'ascolto e capaci dell'angolo dato.

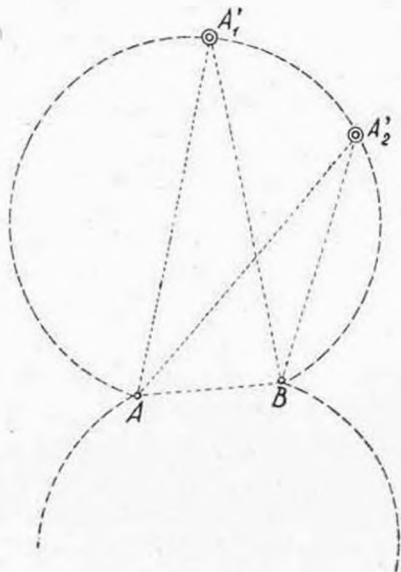


Fig. 6

In conformità di questa nota proprietà del cerchio, i sistemi « F » assumono l'aspetto di doppi fasci di cerchi aventi per base le basi d'ascolto, cioè passanti per le coppie dei posti d'ascolto coniugati e giacenti nel piano delle basi d'ascolto e del p.p. d'a.

Sono interessanti proprietà geometriche dei fasci di cerchi accennati: gli assi radicali sono le rette individuate dai punti corrispondenti ai p. d'a. coniugati; luogo dei centri dei cerchi sono gli assi centrali che sono le rette mediane di ciascuna base d'ascolto (fig. 6).

16. - Su tali basi diviene immediato il tracciamento dei reticolati curvilinei di posizione: si tratta di descrivere degli archi di circonferenze delle quali si conoscono due punti — i punti base dei fasci — ed è possibile determinare i centri.

Questi ultimi sono dati dall'intersezione dell'asse centrale e della normale, sull'estremo del segmento AB , al raggio per detto estremo che forma con AB un angolo eguale a quello di cui sono capaci i punti delle circonferenze rispettive.

Per evitare errori di graficismo derivanti da intersezione di rette sotto angoli molto acuti può risultare utile di sostituire all'accennata costruzione geometrica un procedimento analitico che ne è l'immediata conseguenza: la distanza dei centri O' cercati dai punti mediani O dei segmenti AB è data da

$$OO' = \frac{AB}{2} \cdot \operatorname{tg} (90^\circ - \alpha) = \frac{AB}{2} \cdot \operatorname{cotg} \alpha. \quad [16.1]$$

I fasci di circonferenze dei sistemi « F' » giacciono sui piani della stella avente per centro un p.p. d'a., piani che sono variamente disposti nello spazio e debbono essere riportati sul piano orizzontale dei p. d'a.

A questo scopo occorre ricordare (n. 12) che nella relazione proiettiva che viene a stabilirsi tra spazio e piano gli elementi corrispondenti sono legati dall'affinità che ha per asse la retta passante per i due p. d'a., per centro di proiezione lo zenit e per invariante assoluto, come di norma, il rapporto tra due segmenti corrispondenti qualsivisiano.

In questa affinità a coniche a centro corrispondono coniche a centro e in particolare a cerchi ellissi passanti per i punti base dei fasci di cerchi (ellissi di posizione).

Di conseguenza i sistemi « F » si proiettano sul piano di proiezione come famiglie di ellissi affini alle circonferenze dei fasci descritti al n. 15, delle quali gli elementi fondamentali possono determinarsi come segue: l'asse parallelo alla base d'ascolto ha le stesse dimensioni del diametro del cerchio proiettante; l'asse normale al precedente (coniugato) è dato da $\sqrt{D^2 - H^2}$, ove D è il diametro del cerchio proiettante e H è la quota del p.p. d'a. sul piano dei p. d'a. L'invariante assoluto è dato dal rapporto del diametro del cerchio al diametro dell'ellisse normale all'asse di affinità:

$$\frac{\sqrt{D^2 - H^2}}{D} = \cos \vartheta \quad [16.2]$$

La distanza del centro dell'ellisse dalla base d'ascolto è ovviamente:

$$OO'' = OO' \cdot \cos \vartheta = \frac{AB}{2} \cdot \operatorname{cotg} \alpha \cdot \cos \vartheta \quad [16.3]$$

Sulla base dei precedenti dati il tracciamento delle ellissi di posizione può aver luogo senza difficoltà seguendo uno qualsiasi dei procedimenti suggeriti dalla geometria delle coniche.

Un fascio di ellissi riferentesi a un fascio obiettivo di circonferenze di posizione costituisce un grafico delle proiezioni (n. 21).

17. - *Centri d'ascolto. Grafici delle iso(ciclo)anomale.* — I rilevamenti acustici col metodo delle iso(ciclo)anomale hanno corso a mezzo di organizzazioni complesse fondamentali costituite da almeno 3 basi d'ascolto: i centri d'ascolto.

Mezzo del rilevamento, presso ciascun centro, è il « grafico delle iso(ciclo)anomale ». Questo, nelle sue linee essenziali è una tavola a grande scala, da sovrapporre al piano topografico, sulla quale sono riportate le basi di ascolto e tracciati i sistemi di ellissi di posizione pertinenti alle basi (per facilità di lettura in colori differenti per ciascuna base di riferimento: nero, rosso, verde).

La preparazione dei grafici, in conformità delle caratteristiche geometriche delle parti costituenti il centro, costituisce un'importante attività preliminare di ogni operazione di metodi di rilevamento acustico secondo il procedimento in questione.

Il tracciamento dei grafici ha luogo sulla base delle proprietà metriche dei sistemi « F ».

La loro conformazione generale è il risultato della sovrapposizione dei sistemi « F » relativi alle differenti basi del centro, per effetto della quale si dà origine a un reticolato di linee curve (reticolato delle linee di posizione) le cui caratteristiche intrinseche dipendono dalle posizioni reciproche degli elementi del centro e in particolare delle basi d'ascolto.

Le dimensioni dei triangoli curvilinei di localizzazione (n. 13) sono funzione delle dimensioni delle basi d'ascolto e dello scarto di frequenza che intercorre tra linee contigue.

Per quanto riguarda la posizione reciproca delle basi, è da premettere che nulla osta a che le due basi ordinarie abbiano un estremo in comune, mentre d'altra parte questo accorgimento assicura in definitiva una effettiva economia di mezzi nell'organizzazione complessiva. Del pari è opportuno in generale che la base sussidiaria sia costituita coi due posti d'ascolto delle basi ordinarie non coincidenti.

Pertanto, di regola, le tre basi di un centro d'ascolto potranno essere individuate da tre p. d'a. P_1 , P_2 e P_3 e se P_3 , ad esempio, sarà il posto comune alle due basi ordinarie, vi saranno accentrati i mezzi destinati al servizio dell'intero centro e si denominerà « posto centrale ».

Colle precedenti disposizioni, le basi ordinarie sono P_1P_2 e P_2P_3 e la base sussidiaria è P_1P_3 .

Le tre basi costituiscono un triangolo coi vertici segnati dai p. d'a. completamente determinato dalla lunghezza e dalla angolazione delle due basi ordinarie.

D'altra parte è opportuno in generale che il reticolato delle linee di posizione presenti la più uniforme disposizione di elementi di localizzazione sul settore principale d'ascolto.

E' facile dimostrare che a questo fine gli assi radicali debbono fare un angolo di circa 45° colle direzioni principali d'attacco, le basi ordinarie e la sussidiaria debbono presentare a un dipresso le stesse dimensioni e che i p. d'a. vengono a risultare sui vertici di un triangolo quasi equilatero (ed equiangolo).

L'angolazione delle basi ordinarie è in questo caso di circa 60° (Tav. II).

Per quanto riguarda lo scarto di frequenza tra linee di posizione contigue, è necessario adottare i valori minimi consentiti per assicurare una congrua densità di reticolato, cui è collegata la più elevata precisione possibile dei dati di localizzazione.

Lo scarto minimo in questione dipende dai minimi valori delle differenze di frequenza che è consentito apprezzare con apparecchiature di caratteristiche ordinarie. Ammesso che questo minimo oscilli su di 1 Hz. (n. 10), ciascuno dei sistemi risulterà costituito da linee corrispondenti a differenze di frequenza scalate di 1 Hz o, tenuta presente la trasformazione dei sistemi « F » in sistemi di cerchi (o ellissi) capaci di un angolo fisso, da archi di circonferenze (o di ellissi) capaci, nei confronti delle basi, di angoli crescenti o decrescenti corrispondenti alla variazione di 1 Hz.

In pratica questa equivalenza non potrà essere rispettata in modo assoluto, perchè le esigenze di tracciamento dei sistemi di cerchi o ellissi di posizione consigliano di assumere valori angolari interi. Ma se si ammette in via di approssimazione, che alla variazione di frequenza di 1 Hz. corrisponda un'anomalia angolare di 1° (il che è esatto per $N = 200$ Hz. e $V = 350$ Km. ora) ciascun sistema risulterà costituito da famiglie di curve dalle quali le basi d'ascolto sono viste sotto angoli crescenti (o decrescenti) di 1° .

18. - *Basi d'ascolto.* — Una questione di considerevole interesse teorico-pratico è quella della definizione delle dimensioni più opportune delle basi d'ascolto. Si è già accennato (n. 17) che le dimensioni dei triangoli curvilinei di localizzazione sono funzione, tra l'altro, di quelle delle basi d'ascolto. In definitiva dalle dimensioni delle basi d'ascolto dipende in gran parte il grado di precisione perseguibile col rilevamento acustico in studio.

E' ovvio che basi di grande dimensione consentono reticolati più densi perchè estendono le coniche di posizione e consentono, di conseguenza di appoggiarsi anche a grandi portate su curve capaci di angoli di valore relativamente elevato, cui corrispondono — tenuto conto dei valori a scalare adottati per gli angoli — triangoli di localizzazione più piccoli.

Si integrano le precedenti considerazioni generali con un esempio di calcolo di dimensione di base, per dare una sensazione concreta degli ordini di grandezze in giuoco.

Se si stabilisce in 1° la precisione teorica minima — con una precisione più che doppia dei migliori complessi di puntamento al suono — i triangoli di posizione dovranno avere dimensioni tali, a una distanza corrente, che il massimo scarto di posizione risulti inferiore al minimo errore ammesso.

Gli scarti massimi sono misurati in direzione dalla metà della base di un triangolo di posizione, in gittata, dalla metà dell'altezza.

Se si assume come distanza corrente di ascolto quella di 5000 m. e si ritiene l'altezza di un triangolo di posizione misurata in via d'approssimazione dalla differenza dei diametri di due circonferenze contigue, un facile calcolo numerico consente di apprezzare in 150 m. tale altezza ed a 34° e 35° gli angoli sulla base di cui sono capaci due circonferenze scalate di 1°.

Sulla base delle premesse fatte si ha :

$$AB \text{ (base)} = 2.D.tg. \frac{\alpha}{2} = 10000 \cdot tg 17^\circ = m. 3057.$$

Una base d'ascolto atta ad assicurare la precisione di 1° in un rilevamento a 5000 m. è lunga poco più di 3 Km.

Colle stesse modalità si può accertare che una base di 1 Km. raggiunge soltanto una precisione circa 3 volte più piccola, misurata di fatto dallo scarto massimo 2°23'.

In pratica il grado di precisione non è il solo elemento da prendere in considerazione per stabilire razionalmente le dimensioni delle basi d'ascolto. Basi molto estese rendono eccessivamente ampie le zone morte immediatamente adiacenti ai centri, nelle quali il rilevamento acustico cade in difetto.

Le differenti esigenze si contemperano :

- realizzando la compenetrazione delle zone utili di complessi d'ascolto adiacenti ;
- inserendo sulle basi ordinarie posti d'ascolto ausiliari, per disporre di basi complementari di dimensioni ridotte atte ai rilevamenti a brevi distanze.

Basi complementari di 800 ÷ 1000 m. consentono buone determinazioni entro le portate di 1 ÷ 4 Km.

19. - *Determinazioni in zenit.* — Il procedimento delle linee isoanomale ha conseguito caratteristiche di semplicità per il fatto che il problema in esame, tipicamente spaziale, è stato riportato sul piano.

Peraltro la sua soluzione è incompleta sinchè non si tiene debito conto della quota della sorgente sonora mobile (quota di volo), la cui nozione presenta un duplice interesse: consente di valutare l'altezza zenitale dell'obiettivo aereo sonoro ed è elemento importante per l'esatta individuazione sul piano topografico, posta in atto come restituzione sul piano stesso di un punto definito dall'intersezione di tre linee di posizione variamente orientate nello spazio.

Per effettuare il rilevamento in zenit si ricorre a una base verticale. Poichè per ovvie esigenze la base verticale ha di norma altezza limitata ($500 \div 1000$ m.), è conveniente integrare i dati di rilevamento con un procedimento di calcolo del quale si riassumono di seguito gli elementi sostanziali.

Acquisita una prima valutazione di quota ed effettuata una contemporanea determinazione della velocità effettiva e della frequenza fondamentale, con i dati accennati, procedere al calcolo della congiungente p.p. d'a.-p. d'a. (n. 13) e in base alla conoscenza dell'altezza zenitale al calcolo della distanza orizzontale e quindi a una valutazione più precisa della quota.

Queste operazioni possono essere facilitate coll'ausilio di tabelle a più entrate, in corrispondenza dei differenti parametri citati, o di nomogrammi (ad esempio a punti allineati o di altro tipo) dai quali i dati richiesti sono ricavati colla rapidità richiesta dall'esercizio pratico dei dispositivi di cui trattasi.

Evidentemente i precedenti metodi danno valori di quota di larga approssimazione.

Detti valori sono sufficienti nella maggior parte dei prevedibili casi d'impiego.

All'occorrenza la precisione dei rilevamenti può essere perfezionata con procedimento di successive approssimazioni.

A questo scopo dal primo rilevamento si deduce un primo valore che si assume come dato di partenza di una nuova determinazione in zenit. Di qui un valore più esatto di quota dal quale è consentito ricavare ripetendo l'applicazione un nuovo dato di maggiore approssimazione.

20. - Altri accorgimenti, in gran parte intuitivi, consentono di scartare le soluzioni multiple per simmetria, di correggere gli errori derivanti da dislivelli tra i p. d'a. e di eliminare gli errori derivanti dall'inesatto apprezzamento della frequenza e della velocità effettive delle sorgenti sonore obiettive.

Il procedimento in discorso non risolve in modo univoco il problema del rilevamento perchè intervengono effetti di simmetria in forza dei quali in ogni singolo caso si è in presenza di due soluzioni simmetriche da bande

opposte del centro d'ascolto (in effetti le triple intersezioni delle linee di posizione sono duplici).

Le soluzioni simmetriche possono essere eliminate colla discriminazione meccanico-acustica del mezzo giro di orizzonte di ogni registrazione obiettiva, riducendo il settore utile dei dispositivi raccoglitori dei suoni aerei a valori inferiori o al massimo eguali a 180° e mantenendo distinte le prove-nienze nei complessi d'utilizzazione della registrazione, oppure applicando la nozione della coincidenza dei rilevamenti di complessi adiacenti.

Nel caso che la plastica dei terreni d'impianto non consenta di considerare i p. d'a. situati sullo stesso piano orizzontale, è necessario introdurre appositi coefficienti di correzione che tengano conto della deformazione delle ellissi di proiezione per effetto del trasferimento dal piano orizzontale a un piano inclinato.

Sinchè il dislivello non risulti considerevole, le deformazioni di cui trattasi possono essere considerate trascurabili, dato che entro i limiti di $1/10$ dello sviluppo della base raggiungono appena l'ordine di grandezza della tolleranza di un graficismo di campagna.

Talora non trascurabili risultano gli errori conseguenti al difetto dell'ipotesi dell'invarianza del valore di confronto $1 \text{ Hz.} = 1^\circ$ — adottato per il tracciamento delle isoanomale —, esatto soltanto per determinati valori della frequenza e della velocità della sorgente sonora mobile (u. 17).

Ma dall'esame della legge di variazione di detti valori (Tav. III) si deduce che per differenze di 50 Km. in più o in meno a cavallo della velocità di 350 Km./ora si hanno differenze angolari di $15'$ per le frequenze sui 150 Hz. e di poco più di $7'$ per le frequenze sui 350 Hz. con una spiccata tendenza a valori ancor più ridotti col crescere della frequenza effettiva (motori rapidi multicilindri) e della velocità effettiva (aerei rapidi) che caratterizzano gli aerei moderni.

Si può concludere che per velocità dell'ordine di 400 Km./ora o superiori e per frequenze di 300 Hz. o più elevate risulta verificata in pratica la costanza del rapporto variazione di frequenza/anomalia angolare anche se la velocità effettiva del mobile aereo sonoro varia in misura più estesa di quella ipotizzata, tenuto conto dell'ordine di grandezza e di precisione dei rilevamenti di frequenza apparente e delle determinazioni angolari che sono consentite da apparecchiature correnti.

Del resto soluzioni di maggior rigore si possono perseguire procedendo a valutazioni basate su di un procedimento di « falsa posizione », da raccomandare in particolare quando siano sconosciute le caratteristiche dell'obiettivo aereo.

Questo può essere preceduto da una valutazione presuntiva basata sul criterio di assumere come frequenza effettiva una frequenza intermedia tra

le frequenze apparenti di ogni terna di registrazioni e come velocità effettiva, quella di crociera della classe di apparecchi. Considerate le elevate velocità sviluppate dagli aerei moderni, errori di apprezzamento anche considerevoli in valore assoluto non raggiungono un valore percentuale elevato.

Comunque l'applicazione del procedimento che si è denominato di falsa posizione consente di eliminare scarti inammissibili.

I dati di grossolana approssimazione ricavati da una coppia di registrazioni sono utilizzati per calcolare due punti successivi della rotta aerea obiettiva. Sulla base di tali elementi si procede al calcolo di una velocità di rotta e subito dopo — in base ai dati di velocità, posizione e frequenza apparente — alla determinazione della frequenza effettiva. I dati più esatti così acquisiti si pongono a base di un nuovo rilevamento, i cui risultati o si ritengono immediatamente utilizzabili o possono essere impiegati per un'ulteriore analoga applicazione.

Predisposizioni intuitive varranno a rendere di sollecita operazione le accennate modalità.

21. - *Modalità applicative.* — Non rientra nell'assunto della presente nota l'esame dei problemi connessi con un esercizio effettivo di basi e di centri d'ascolto, nè quello dell'organizzazione complessa, in personale e in materiali, atta a trarre profitto da procedimenti di localizzazione col suono di obiettivi aerei.

Basterà accennare, a chiusa di quanto esposto, che le operazioni di rilevamento acustico debbono svolgersi entro i più brevi termini di tempo e colle migliori garanzie di precisione e a questo scopo debbono adottarsi accurati accorgimenti.

Le attività concrete da svolgersi nel corso di ogni operazione di rilevamento possono sintetizzarsi nel seguente schema :

- 1) registrazione delle frequenze apparenti presso ciascun p. d'a. e calcolo delle differenze di frequenza relative a ciascuna base ;
- 2) conversione delle differenze di frequenza in anomalie angolari ;
- 3) entrata coi valori delle anomalie angolari nei grafici delle isoanomalie, individuando le linee insoanomalie corrispondenti ai dati di rilevamento, determinazione delle triple intersezioni (oppure dei triangoli d'errore), individuazione di una p.p. d'a. di prima approssimazione ;
- 4) entrata nel grafico delle determinazioni in zenit per valutare una quota approssimata di volo, in base ai dati ricavati colle precedenti operazioni ;

- 5) scelta di un grafico delle proiezioni in corrispondenza della quota e trasferimento del p.p. d'a. dallo spazio al piano orizzontale (del disegno);
- 6) eventualmente, ripetizione della determinazione in zenit sulla base di dati corretti in conformità delle operazioni sin qui svolte e ripetizione della proiezione sul piano del disegno, nel caso che siano state riscontrate differenze di quota importanti.

Le operazioni previste possono effettuarsi colla rapidità e precisione necessarie quando si disponga presso i centri di operazione di grafici delle curve isoanomale, dei grafici di proiezione per ciascuna quota cardinale di volo e delle tabelle di correzione per differenze positive e negative di quota d'interpolazione e dei grafici di determinazione in zenit.

Inoltre: grafici e tabelle per la valutazione dei rapporti di conversione frequenze-angoli, per il calcolo delle velocità e frequenze stimate, prontuari delle caratteristiche degli aerei obiettivi, ecc.

Nella maggior parte dei problemi pratici interessa conoscere, in base ai p.p. d'a., un punto futuro (p. f.).

Il procedimento per passare dal p.p. d'a. al p. f., non è differente da quello correntemente applicato nella tecnica corrente dell'ascolto aereo: si determina un tronco della rotta obiettiva mediante il rilevamento di un congruo numero di p.p. e si procede alla sua extrapolazione, per l'intervallo di tempo che intercorre tra l'ultimo p.p. e il punto futuro, secondo un tempo di servizio corrispondente allo scopo del rilevamento aereo.

CAPO IV

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

22. - L'esame delle possibilità teoriche offerte dall'utilizzazione dei fenomeni sonori connessi coll'effetto Doppler nel campo della localizzazione col suono di sorgenti sonore aeree mobili è stato positivo, perchè non soltanto è valso ad accertare una serie di fatti che assicurano circa i risultati concreti in linea qualitativa, ma ha consentito altresì di raccogliere una certa quantità di dati metrici che costituiscono buona premessa per i risultati di ordine quantitativo da richiedersi per le eventuali applicazioni pratiche.

Inoltre ha consentito di prospettare alcune modalità di utilizzazione dei fenomeni obiettivi, non prive di interesse tecnico-scientifico perchè sono qualche cosa di più che semplici esibizioni di curiosità scientifiche.

Molti elementi pertanto giuocano a favore delle accennate applicazioni pratiche, che di fatto sono state tenute sempre presenti nell'estensione della nota, con riguardo implicito alla difesa contraerei e perciò dell'azione contro aeromobili di caratteristiche tecniche e di volo conosciute soltanto imperfettamente.

Le applicazioni divengono più agevoli e quindi più redditizie quando si considerino esigenze di traffico civile o, in caso di guerra, esigenze di controllo di aerei amici perchè in queste circostanze e in concomitanza con opportuni equipaggiamenti a terra presso i campi d'atterraggio potranno predisporre a bordo degli aerei particolari sorgenti sonore o ultrasuono di caratteristiche perfettamente note colle quali si potrà costituire equipaggiamento per il volo cieco e per l'atterraggio di notte o con nebbia. E' evidente che nei precedenti termini verrà eliminata molta parte delle cause d'errore che si sono riscontrate nel corso della precedente trattazione, cause che sono dovute alla imperfetta conoscenza delle caratteristiche sonore e di velocità delle sorgenti sonore aeree, e si potranno raggiungere risultati pratici sensibilmente migliori.

Attributi generali dei procedimenti proposti, sui quali si ritiene opportuno insistere, sono quelli della semplicità intrinseca e relativa in confronto con altri sistemi per la localizzazione degli aerei, l'esercizio con mezzi di normale accezione, la rusticità dei dispositivi e la semplicità di una eventuale organizzazione d'impiego, la limitazione del personale occorrente essendo agevole prevedere dispositivi semiautomatici, la facilità d'operazione e quindi d'addestramento, infine, « *last but not least* », la spesa comparativamente ridotta che, a quanto è dato prevedere, sarebbe necessario affrontare per l'impianto e l'esercizio dei mezzi corrispondenti.

Non vi è alcun dubbio che i mezzi radioelettrici attuali, essenzialmente i radar e derivati, fanno largamente premio nelle circostanze ordinarie per precisione, rapidità e portata sui dispositivi di localizzazione al suono per effetto Doppler, ma, lo si è già rilevato (n. 3), quelli contano già formidabili nemici la cui efficacia di neutralizzazione non deve essere sottovalutata oggi e ancor più domani.

Pertanto è da ritenere opportuno che, se non altro con finalità integrative in guerra e di traffico ordinario civile in tempi normali, i procedimenti descritti debbano essere presi in considerazione e siano effettuati esperimenti pratici per definirne i campi d'applicazione e le effettive possibilità di rendimento.

In tale sede si potranno definire quei particolari applicativi che hanno larga parte nel conseguimento di un elevato rendimento pratico, quali ad esempio le modalità d'organizzazione e le apparecchiature tecniche, particolari che nella presente nota non sono stati presi in esame per mantenerla nei limiti di una breve trattazione monografica.

Si soggiunge soltanto che, data la relativa semplicità costruttiva e d'esercizio di sistemi di p. d'a., è consentito prevederne l'impianto e l'esercizio su estensioni territoriali e in numero considerevoli, in guisa da *sensibilizzare* ai suoni aerei quelle zone che coprono efficacemente gli obiettivi terrestri dell'azione aerea avversaria, colla finalità di assicurare un'adeguata e tempestiva reazione contraerea.

La riunione in « centri » delle registrazioni dei p. d'a., in gran parte semiautomatiche e automatiche, consentirà l'individuazione e il tracciamento delle rotte delle formazioni aeree d'attacco e la determinazione di caratteristiche tecniche da utilizzare nell'esercizio delle basi d'ascolto (n. 18).

Il tracciamento delle rotte può farsi mediante dispositivi d'immediata ispezione, come grafici a segni luminosi, la cui realizzazione può effettuarsi in base a modalità intuitive.

23. - In chiusa si svolge un breve cenno sull'applicazione dell'ascolto delle variazioni di frequenza per effetto Doppler a un campo del tutto differente da quello specificamente indicato nelle pagine precedenti: la teleguida di aerei senza pilota o di proietti autopropulsi (razzi), in base al principio che le frequenze apparenti colle quali è ascoltato un mobile aereo sonoro da uno o più posti d'ascolto fissi dislocati nel piano verticale della traiettoria non subiscono variazioni se il mobile percorre una traiettoria rettilinea con velocità costante. E reciprocamente una variazione di frequenza apparente, a parità d'altre circostanze, è indicativa di deviazione dal piano verticale della traiettoria.

Non esistono di fatto difficoltà concettuali per concepire complessi d'ascolto accoppiati con dispositivi di teleguida agenti mediante radiotelecomando.

A parte il fatto che in genere detti aeromobili sono per conto proprio sorgenti sonore sovente di considerevole potenza, è assai facile provvederli di generatori di frequenze sonore o ultrasonore senza dubbio molto più semplici dei complessi radiotrasmittenti dei quali li si è talvolta muniti per analoghe finalità.

Il campo d'impiego di dispositivi del genere è limitato dalla portata delle sorgenti sonore e ultrasonore e dalla velocità dei mobili aerei.

TAB. 1

CALCOLO PER PUNTI DELLE LINEE « ALFA-N' »

	V=150	250	350	450	550	650	750	850 km.
N = 200								
0°	178,0	166,1	155,6	146,2	137,9	130,6	124,1	118,1
10°	178,3	166,5	156,1	146,8	138,6	131,3	124,8	118,8
20°	179,2	167,6	157,7	148,6	140,6	133,4	127,0	121,0
30°	180,7	169,9	160,1	151,7	143,9	137,0	130,7	124,9
40°	182,7	172,9	161,1	156,1	148,7	142,2	136,2	130,6
50°	185,3	176,8	169,0	161,8	155,1	149,1	143,5	138,3
60°	188,3	181,5	175,0	168,9	163,3	158,0	153,2	148,5
70°	191,9	181,9	182,2	172,4	173,3	165,2	165,4	161,6
80°	195,8	193,1	190,5	188,0	185,5	183,1	180,8	178,4
90°	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
100°	204,4	207,4	210,4	213,7	217,0	220,4	223,8	227,5
110°	208,8	215,0	221,6	228,8	236,4	244,4	252,9	262,3
120°	213,2	222,8	233,3	245,0	258,1	272,3	288,1	306,3
130°	217,2	230,3	241,9	262,0	281,4	303,6	329,7	361,2
140°	220,9	237,2	255,9	278,4	305,2	337,1	376,4	427,1
150°	223,9	243,0	265,6	293,4	327,7	370,2	425,3	501,4
160°	226,3	248,1	273,3	305,6	346,6	399,2	470,7	575,5
170°	227,7	250,4	278,2	313,5	359,2	419,2	503,3	632,3
180°	228,2	251,4	279,8	316,3	363,6	426,3	515,6	653,8
N = 300								
0°	267,0	249,1	233,4	219,4	206,9	195,9	186,1	177,1
10°	267,5	249,7	234,2	220,2	207,9	197,0	187,2	178,2
20°	268,8	251,3	236,6	222,9	210,8	200,1	190,5	181,5
30°	271,0	254,9	240,6	227,6	215,9	205,5	196,1	187,4
40°	274,1	259,4	246,2	234,1	223,1	213,3	204,3	195,9
50°	277,9	265,1	253,5	242,6	232,7	223,6	215,3	207,4
60°	282,5	272,2	262,5	253,4	244,9	237,6	229,7	222,7
70°	287,8	277,3	273,3	267,7	260,0	257,7	248,1	242,4
80°	293,7	289,7	285,8	282,0	278,2	274,6	271,1	267,7
90°	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0
100°	306,5	311,1	315,7	320,5	325,5	330,5	335,7	341,2
110°	313,2	322,5	332,4	343,1	354,6	366,5	379,4	393,4
120°	319,7	334,2	349,9	367,6	387,1	408,4	432,2	459,5
130°	325,8	345,4	367,4	392,9	422,1	455,5	494,5	541,8
140°	331,3	355,7	383,9	417,6	457,8	505,6	564,6	640,6
150°	335,8	364,5	398,4	440,1	491,6	555,3	638,0	752,1
160°	339,4	372,2	409,9	458,4	519,9	598,8	706,0	863,2
170°	341,6	375,6	417,2	470,3	538,8	628,8	754,9	948,5
180°	342,3	377,1	419,8	474,4	545,5	639,5	773,3	980,8

	V = 150	250	350	450	550	650	750	850 km.
N = 400								
0°	356.0	332.1	311.2	292.5	275.9	261.3	248.2	236.1
10°	356.6	333.0	312.2	293.6	277.1	262.6	249.6	237.6
20°	358.4	335.0	315.4	297.3	281.1	266.8	254.0	242.1
30°	361.3	339.8	320.7	303.4	287.8	274.0	261.5	249.8
40°	365.4	345.8	328.3	312.1	297.5	284.4	272.4	261.1
50°	370.6	353.5	338.0	323.5	310.2	298.2	287.1	276.6
60°	376.7	362.9	350.1	337.9	326.5	316.1	306.3	296.9
70°	383.8	369.8	364.4	351.9	346.6	338.3	330.8	323.3
80°	391.6	386.3	381.1	375.9	370.9	366.2	361.5	356.9
90°	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0
100°	408.7	414.7	420.9	427.3	433.9	440.7	447.6	454.9
110°	417.6	439.1	443.2	457.5	472.7	488.7	505.8	524.5
120°	426.3	445.5	466.6	490.1	516.1	544.5	577.3	612.6
130°	434.5	460.5	489.9	523.8	562.9	607.3	659.4	722.4
140°	441.8	474.3	511.9	556.8	610.4	674.1	752.7	854.1
150°	447.8	486.0	531.3	586.8	655.4	740.3	859.7	1002.8
160°	452.5	496.2	543.6	611.2	693.2	798.5	941.3	1150.9
170°	455.4	500.8	556.3	627.1	718.4	838.4	1006.5	1264.6
180°	456.4	502.8	559.7	632.6	727.3	852.7	1031.0	1307.7
N = 500								
0°	445.0	415.1	389.0	365.6	344.8	326.6	310.2	295.1
10°	445.7	416.2	390.3	367.1	346.4	328.3	312.0	297.0
20°	448.0	418.9	394.3	371.6	351.4	333.5	317.4	302.6
30°	451.7	424.8	400.9	379.3	359.8	342.5	326.8	312.3
40°	456.8	432.3	410.3	390.1	371.8	355.5	340.5	326.4
50°	463.2	441.9	422.5	404.4	387.8	372.8	358.8	345.7
60°	470.9	453.6	437.6	422.4	408.2	395.1	382.9	371.2
70°	479.7	466.2	455.6	444.1	433.3	428.9	413.5	404.1
80°	489.5	482.8	476.4	469.9	463.7	457.7	451.9	444.6
90°	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
100°	511.0	518.4	526.1	526.1	542.5	550.9	559.6	568.7
110°	522.0	537.6	554.1	554.1	590.9	610.9	632.3	655.6
120°	533.0	556.9	583.2	583.2	645.2	680.7	720.3	765.8
130°	543.1	575.6	612.3	612.3	703.6	759.1	824.2	903.0
140°	552.2	592.9	639.8	639.8	763.0	842.7	940.9	1067.7
150°	559.8	607.5	664.1	664.1	819.3	925.5	1063.4	1253.5
160°	565.7	620.3	683.2	683.2	866.6	998.1	1176.6	1438.7
170°	569.3	626.1	695.4	695.4	898.1	1048.0	1258.1	1580.8
180°	570.5	628.5	699.6	699.6	909.1	1065.8	1288.8	1634.6

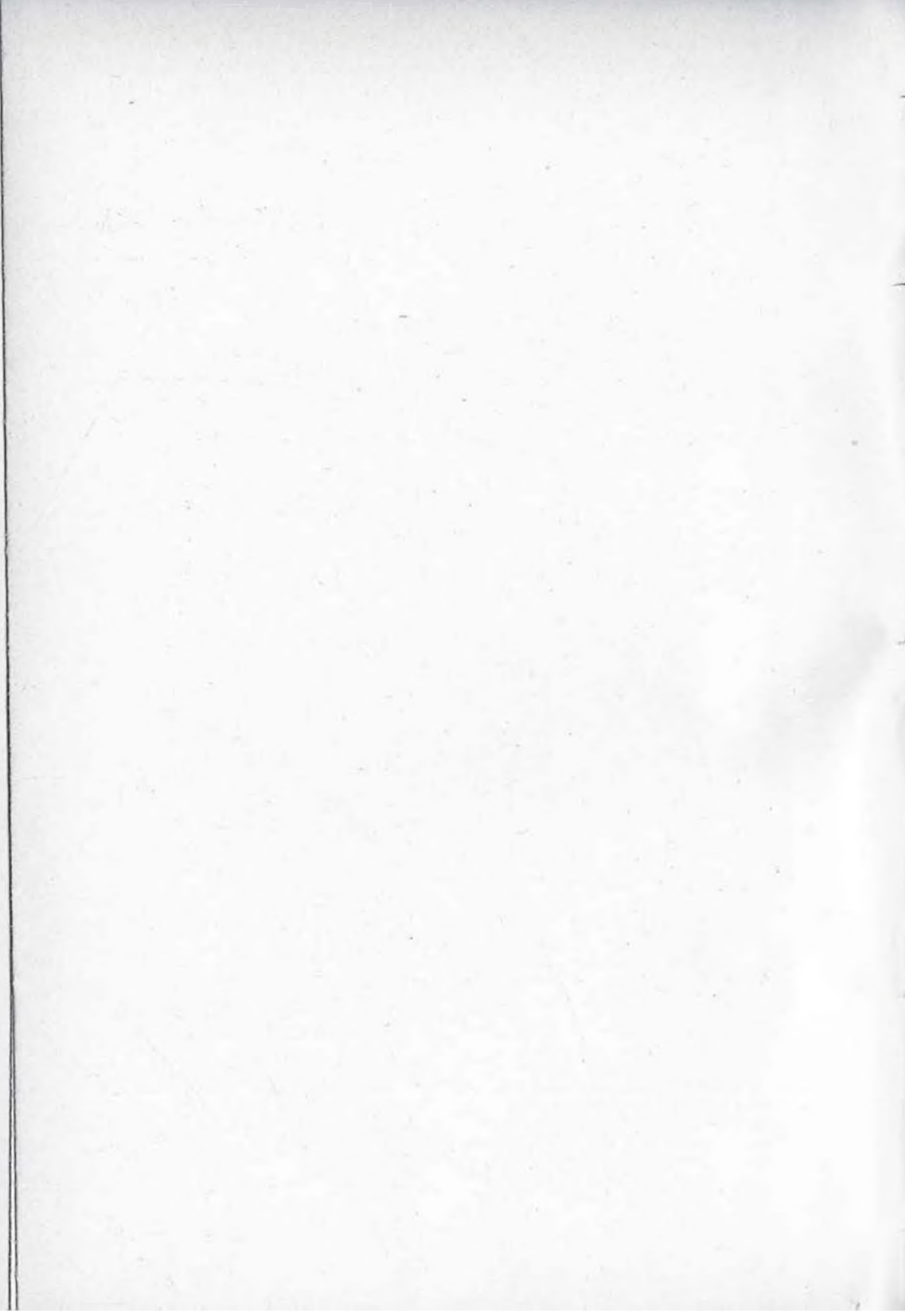
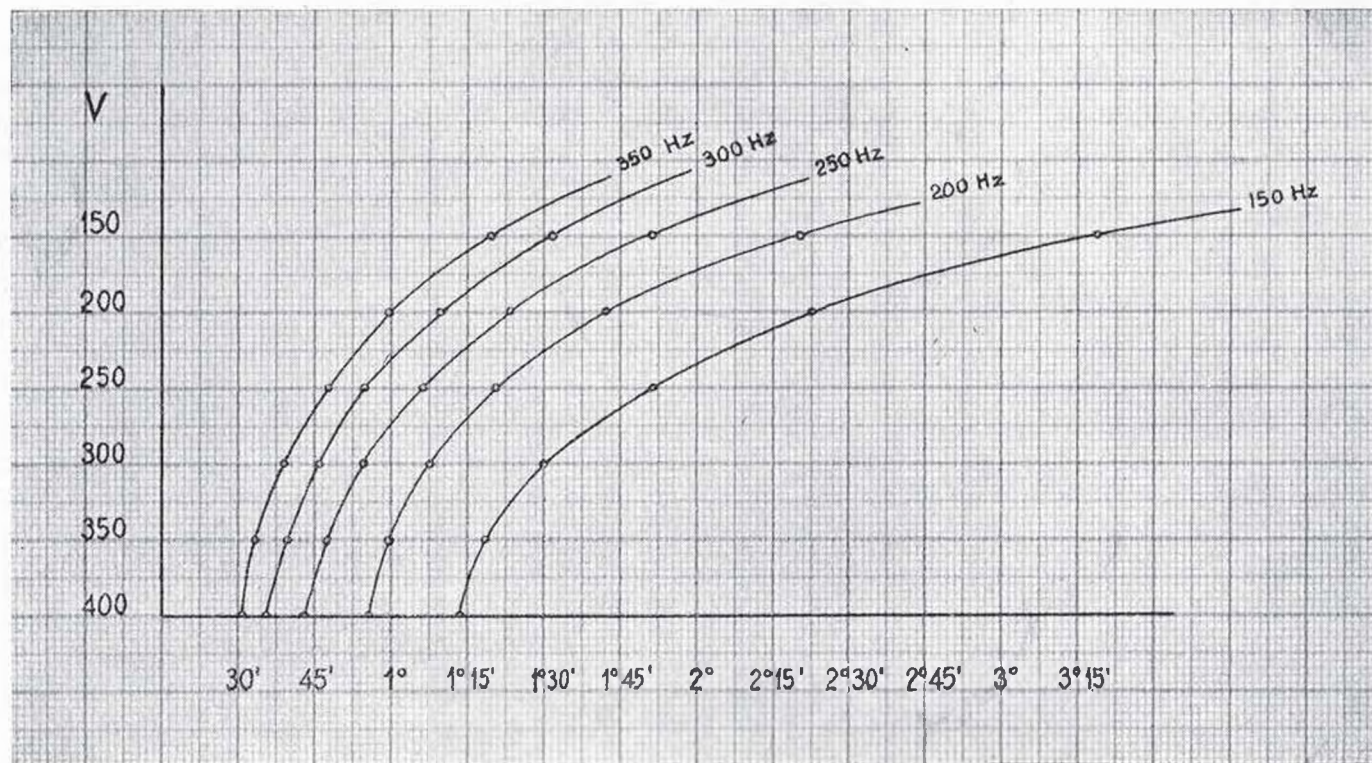


Grafico indicativo del rapporto variazioni di frequenza e variazioni angolari
in funzione delle frequenze e velocità effettive



LE COMUNICAZIONI MULTIPLE

Magg. del genio Giorgio Pelli

PREMESSA

Gli ultimi cento anni hanno visto gli enormi progressi dei sistemi per comunicare rapidamente il pensiero a distanza.

Telegrafia, telefonia, radio, televisione, col loro enorme sviluppo coinvolgono vastissimi interessi sociali, culturali ed economici. Durante le tappe di questo sviluppo, tuttora in piena ascesa, la tecnica ha incontrato e, aiutata dalle scienze fisico-matematiche, superato difficoltà di ogni genere.

Basti pensare alla complessità delle centrali di collegamento, e dei loro dispositivi meccanici ed elettrici, alla difficoltà di costruire enormi fasci di vie di comunicazione, alla difficoltà di utilizzare e ripartire le bande di frequenza disponibili nel campo delle radiazioni elettromagnetiche. Per vincere queste difficoltà, due vie, principalmente, sono state battute:

- quella di aumentare il rendimento degli apparati sia rendendoli sempre più rapidi e direttamente stampanti, sia aumentando la celerità di smistamento delle comunicazioni nelle centrali, sia estendendo la gamma di frequenze utilizzate, sia perfezionando le linee di comunicazione;
- quella di attuare comunicazioni multiple, effettuando cioè le trasmissioni contemporanee utilizzando una sola via: o una unica linea od una unica onda portante.

E' questa la via che sarà percorsa rapidamente.

NOZIONI FONDAMENTALI

Prima però è necessario richiamare alcuni concetti fondamentali. Il meccanismo di una comunicazione elettrica è, nel caso più generale, attuato considerando o trasformando l'informazione da trasmettere (parola, segno convenzionale, immagine, ecc.) in una funzione variabile col tempo; a mezzo

di opportuni trasduttori si provocano variazioni di energia elettrica, generata nel tempo; tale energia elettrica variabile può essere trasmessa in parte, a distanza, e le grandezze elettriche che la individuano, variabili secondo la stessa funzione, potranno comandare altro trasduttore che renderà intelligibile ai sensi l'informazione trasmessa. In altre parole si affidano le modulazioni telegrafiche, telefoniche, televisive a correnti portanti che, convogliate su linee o cavi ed affidate ad onde hertziane, vengono trasportate all'estremo ricevente e quindi, demodulate, sono condotte agli opportuni ricevitori, onde trarne i segnali, i suoni e le immagini.

Durante il trasferimento dell'energia elettrica variabile si possono avere distorsioni; per es., in un certo mezzo, l'energia variabile con una certa frequenza si propaga con velocità differente da quella variabile a frequenze diverse. All'arrivo la ricostruzione della funzione originaria non sarà quindi fedele. Oppure certe frequenze si potranno attenuare, durante il viaggio di trasferimento, più rapidamente di altre; all'arrivo le prime saranno debolissime od anche assenti, con evidente danno della fedeltà di riproduzione della funzione originaria.

Di qui l'importanza di un accurato dimensionamento delle vie di comunicazione.

GENERALITA' SULLE COMUNICAZIONI MULTIPLE

I sistemi di comunicazioni multiple sono quelli che effettuano la trasmissione di più informazioni contemporanee utilizzando un unico mezzo: od un unico conduttore od un'unica onda portante.

Per giungere a questi risultati si sono seguiti due metodi:

- 1) Dislocazione delle comunicazioni nel tempo: consistente nella suddivisione delle diverse informazioni per poterle intercalare con ritmo stabilito nel tempo (sistema multiplo a divisione nel tempo).
- 2) Dislocazione delle comunicazioni nel campo delle frequenze: consistente nel dislocare le diverse comunicazioni in corrispondenza di onde supporto a frequenza diversa, chiamate frequenze vettrici, ciascuna delle quali viene modulata con la funzione che rappresenta l'informazione (sistema multiplo a divisione di frequenze).

La storia delle comunicazioni multiple mostra il prevalere dell'uno o dell'altro metodo.

Iniziata col sistema della dislocazione nel tempo (Baudot), successivamente sviluppata col secondo metodo, sia per l'introduzione dei sistemi a correnti vettrici su linee, sia in applicazione dei sistemi di radiocomunicazioni a frequenze molto alte, è orientata ora ad un ritorno al primo metodo, con la diffusione delle comunicazioni ad impulsi.

COMUNICAZIONI A FREQUENZE VETTRICI

Si esamini ora più da vicino il sistema di comunicazioni multiple a frequenze vettrici.

Esso si basa sul principio della traslazione della banda di frequenza che consiste nel dislocare le diverse comunicazioni in corrispondenza di onde di supporto a frequenze diverse e successive.

Queste diverse frequenze, così modulate, occupano ciascuna una certa larghezza o banda, o canale.

Se il mezzo di trasporto, che può essere un conduttore o un'onda portante fondamentale, ha la possibilità di contenere e trasportare un certo numero di canali costituiti dalle frequenze vettrici modulate, si ha la possibilità di attuare comunicazioni multiple.

Per questo la linea od il cavo devono poter trasmettere senza distorsione un notevole numero di frequenze diverse, e perciò devono avere la più elevata possibile frequenza di taglio.

L'onda portante fondamentale deve avere una sufficiente larghezza di canale, per potervi contenere numerose le bande vettrici.

Così, nel campo delle comunicazioni a filo, avendo i normali cavi telefonici una bassa frequenza di taglio, i sistemi a frequenze vettrici sono applicati alle linee aeree, a cavi con speciali materiali isolanti, a cavi coassiali, a guide d'onda con elevatissima frequenza di taglio.

Nel campo radio sistemi a numerosi canali si possono attuare impiegando onde cortissime e micro-onde.

La portante a radio frequenza dovrà, infatti, essere modulata dal segnale relativo all'insieme delle varie comunicazioni traslate sulle successive frequenze vettrici.

Tale modulazione potrà essere di ampiezza, di frequenza o di fase.

Alla ricezione, i vari canali del sistema vengono separati e quindi demodulati.

Quanto sopra comporta la risoluzione di moltissimi problemi tecnici, che saranno successivamente esaminati.

La fig. 1 dà un esempio schematico di impianto telefonico a correnti vettrici.

Esso comprende: linee telefoniche 1, 2, 3,... in arrivo (abbonati); ognuna di esse giunge al proprio modulatore ove giungono pure le correnti vettrici di frequenza $f_1, f_2...$; ogni corrente vettrice modulata viene amplificata dal proprio amplificatore ed immessa nella linea comune a tutte le correnti. Lungo questa linea sono disposte le opportune stazioni di amplificazione.

All'arrivo i filtri selezionatori $F_1, F_2, \dots$ separano le correnti vettrici di frequenza $f_1, f_2, \dots$ modulate, che, passando ciascuna attraverso il proprio demodulatore forniscono alla corrispondente linea telefonica la corrente della conversazione.

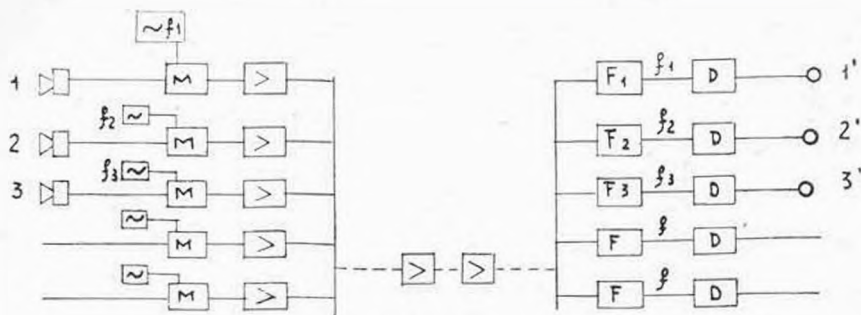


Fig. 1.

E' opportuno fissare l'attenzione sulla tecnica realizzatrice delle varie parti di un sistema a frequenze vettrici, per comprendere le notevoli difficoltà che sono state a mano a mano incontrate e superate nei successivi perfezionamenti.

- 1) Generazione di correnti vettrici a frequenze diverse, definite e opportunamente intervallate fra loro.

Mentre nelle prime realizzazioni si avevano tanti oscillatori quante erano le frequenze portanti, le più recenti apparecchiature utilizzano un solo oscillatore principale controllato a quarzo mantenuto in termostato, che genera una frequenza fondamentale dalla quale, per demoltiplicazioni e moltiplicazioni successive, vengono ricavate le frequenze vettrici.

La stabilità dell'oscillatore principale è elevatissima per evitare scarti anche alle più alte frequenze.

La notevole potenza richiesta è ottenuta tramite adeguati amplificatori.

- 2) Modulazione delle correnti vettrici con la corrente telefonica, e successiva eliminazione della frequenza portante e di una delle bande laterali.
- 3) Trasmissione, che considera i problemi delle linee e dei cavi risolti solo da una progredita tecnica costruttiva, realizzata mediante l'impiego di materiali dielettrici a minime perdite, l'opportuno dimensionamento dei conduttori, l'ideazione di macchine per costruirli senza apprezzabili irregolarità, dannose in quanto significano par-

ziale riflessione di energia, e problemi di irradiazione e propagazione di onde elettromagnetiche ad altissima frequenza.

Sono da considerarsi anche gli amplificatori dislocati lungo le linee di trasmissione ed alle stazioni ripetitrici, che realizzano, applicando il principio della controreazione, un'uniforme amplificazione per larghe bande di frequenze.

- 4) Ricezione, che comprende filtri di selezione, demodulatori, amplificatori e trasduttori.

Si ricorda che già da diversi anni è in servizio, nelle grandi linee telefoniche trascontinentali degli Stati Uniti, un sistema tipico che utilizza al massimo il principio delle correnti vettrici su linee aeree.

Sulla palificazione sono infatti quattro traverse orizzontali con 5 doppioli ognuna (totale 40 fili). L'utilizzazione è la seguente:

- su ogni conduttore un circuito telegrafico a corrente continua;
- su ognuno dei quattro doppioli mediani 10 canali telegrafici a frequenze vettrici;
- su ogni doppiolo un circuito telefonico ordinario;
- sui quattro doppioli mediani due circuiti telefonici virtuali;
- su ognuno dei restanti 16 doppioli, 16 canali telefonici a frequenze vettrici.

In conclusione con 40 fili si possono eseguire contemporaneamente 80 comunicazioni telegrafiche e 276 conversazioni telefoniche.

Ulteriori possibilità presentano gli impianti di collegamento a cavi coassiali ed a guide d'onda.

Sono state attuate, usando due coppie coassiali, 960 conversazioni contemporanee. In questo caso le difficoltà d'ordine pratico che si presentano nel progetto e nella realizzazione dei filtri, che obbligherebbero a spaziare maggiormente i canali al crescere delle frequenze, sono stati superati applicando diversi stadii di modulazione, interessanti a mano a mano un numero crescente di canali.

Per arrivare a trasmettere 960 canali, sono stati formati pregruppi di 3 canali, gruppi di 12 canali, raggruppanti 4 pre-gruppi, supergruppi di 60 canali, raggruppanti ciascuno 5 gruppi.

Nella stessa coppia coassiale, sia pure con portate limitate ai 300 Km., si possono trasmettere correnti a frequenze superiori, utilizzabili, per es., per la televisione.

Lo stesso cavo è inoltre utilizzato per inviare le correnti continue di alimentazione alle stazioni amplificatrici intermedie non presidiate.

Nel campo delle radio-comunicazioni ad onde ultracorte si ricorda, come esempio, l'apparecchiatura realizzata dalla Philips, che permette 48 conver-

sazioni contemporanee dislocate su altrettante frequenze vettrici o portanti, e modulanti in frequenza le 2 onde supporto principali, di circa 300 e 300 Mhz rispettivamente, usate ciascuna per un senso della comunicazione.

COMUNICAZIONI A IMPULSI MODULATI

Il secondo metodo di comunicazioni multiple è quello della dislocazione di esse nel tempo; questo metodo è ora diffusissimo nei sistemi di comunicazione ad impulso.

Il metodo della modulazione a impulso si basa su questo concetto: per effettuare una comunicazione non è necessario eseguire una trasmissione continua nel tempo, in quanto la grandezza modulante può essere individuata alla ricezione trasmettendo di essa un numero sufficiente di ordinate ad intervalli di tempo costanti.

Questi intervalli devono essere minori od uguali alla metà del periodo corrispondente alla massima frequenza che si desidera trasmettere.

Per es., la banda di frequenze acustiche fino a 4000 Hz può essere trasmessa prelevando le ordinate della grandezza modulante con un ritmo di 8000 o più volte al secondo (cioè ad intervalli minori od uguali a 125 microsecondi).

La trasmissione delle ordinate può avvenire:

- per analogia, quando si utilizza un solo impulso per trasmettere ciascuna ordinata della grandezza modulante;
- in codice, quando le diverse ordinate, in base al loro valore, vengono trasmesse con opportuno raggruppamento di impulsi, secondo un codice prestabilito.

Nel primo caso le ordinate o campioni vengono trasmesse con impulsi rettangolari che si succedono con un periodo determinato dalla banda di frequenze acustiche che si devono trasmettere.

Si consideri una serie infinita di segnali di forma rettangolare (fig. 2), ognuno di durata x , susseguentesi ad intervalli di tempo T . Se x è piccolo rispetto a T , si avrà una serie di impulsi.

La funzione $f(t)$, che rappresenta il segnale, è di tipo fisico, simmetrica rispetto all'origine (pari), periodica, e quindi sviluppabile in serie di Fourier; nel nostro caso, se A è l'ampiezza dell'impulso, si avrà:

$$f(t) = \frac{Ax}{T} = \frac{2A}{\pi} \operatorname{sen} \frac{\pi x}{T} \cos \omega t + \frac{2A}{2\pi} \operatorname{sen} \frac{2\pi x}{T} \cos 2\omega t + \\ + \dots + \frac{2A}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi x}{T} \cos n\omega t + \dots$$

Le ampiezze degli infiniti termini sinusoidali dipendono dal rapporto x/T , e da n ; la rappresentazione grafica può essere efficacemente fatta mediante gli spettri di frequenze.

Dal rapporto fra l'ampiezza della componente n e quella della prima:

$$\frac{1}{n} \frac{\sin n \pi \frac{x}{T}}{\sin \pi \frac{x}{T}}$$

si deduce che lo spettro delle frequenze si estende rapidamente col diminuire del rapporto x/T ; per es.: se $x/T = 1/10$, e $n = 3$, il rapporto è 0,86; se $x/T = 1/1000$, occorre arrivare alla 305ª componente per avere lo stesso rapporto.

Di qui si intravede la grande larghezza di canale occupata da un segnale formato da una serie di impulsi.

La durata di ciascun impulso dipende dalle nostre possibilità tecniche. Se si possono creare e quindi utilizzare impulsi sufficientemente brevi, fra la fine della trasmissione di un impulso e l'inizio del successivo rimane un intervallo di tempo, relativamente molto lungo, durante il quale, con lo stesso metodo, possono essere trasmesse altre serie di impulsi cui sono affidate altrettante comunicazioni.

Esse vengono così trasmesse contemporaneamente, o, per meglio dire, fra di loro intervallate nel tempo.

L'insieme di tutti gli impulsi appartenenti alle varie comunicazioni modulate, costituisce il segnale a bassa frequenza che dovrà modulare la portante del radiotrasmettitore.

Si osserva subito che, essendo la larghezza di canale di questo segnale dell'ordine di 1 MHz, la frequenza della portante dovrà essere nel campo delle onde ultracorte e delle microonde.

Alla ricezione occorre un sistema in perfetto sincronismo col trasmettitore, che smisti gli impulsi modulati in tante vie distinte quante sono le comunicazioni, in modo che ogni via riceva tutti e solo quegli impulsi che riguardano le informazioni che essa deve ricevere.

Una serie di impulsi rettangolari è individuata da tre parametri: ampiezza, durata degli impulsi e intervallo di tempo con il quale essi si succedono.

Pertanto, la trasmissione dei successivi valori della funzione modulante può avvenire agendo su uno di questi parametri: così si hanno, corrispondentemente, tre tipi di modulazione degli impulsi: di ampiezza, di durata e di posizione.

Se la durata degli impulsi è molto piccola rispetto al periodo della massima frequenza modulante, si possono dare le seguenti definizioni:

- si ha modulazione di ampiezza quando l'ampiezza di un impulso che si manifesta in un determinato istante è proporzionale all'ampiezza che il segnale modulante possiede in quell'istante;
- si ha modulazione di durata quando la durata di un impulso che si manifesta in un determinato istante è proporzionale all'ampiezza che il segnale modulante possiede in quell'istante. Questa modulazione può avvenire per spostamento del fronte anteriore degli impulsi o del fronte posteriore o di entrambi i fronti;
- si ha modulazione di posizione quando un impulso, che in assenza di modulazione si manifesterebbe nell'istante t , con la modulazione si manifesta nell'istante $t + dt$, essendo dt proporzionale all'ampiezza che il segnale modulante possiede in t .

Dal confronto fra gli spettri di frequenza della serie di impulsi modulati nei tre modi considerati si possono trarre alcune deduzioni sui metodi che consentono di ricavare nel ricevitore la grandezza modulante.

Nello spettro degli impulsi modulati in ampiezza, ottenuto, con riferimento al caso di un segnale sinusoidale di frequenza f , ponendo nella serie di Fourier soprascritta al posto di A la $A(t) = A_0 \sin \omega t$, compaiono, oltre alle componenti armoniche degli impulsi non modulati di frequenza n/T , alle bande laterali di frequenza $n/T \pm f$, la componente avente la frequenza f della grandezza modulata e ampiezza indipendente dalla frequenza stessa.

La separazione della componente di frequenza f si ottiene quindi con un filtro passabasso, la cui frequenza frontiera sia maggiore di f e minore di $1/T - 2f_{\max}$.

Si osserva che per la massima frequenza trasmessa dovrà quindi essere soddisfatta la condizione: $1/T \geq 2f_{\max}$, come già si è detto.

Analogamente, dall'esame dello spettro degli impulsi modulati in durata, ottenuto ponendo, nella nota serie, al posto di x la $x(t) = x_0 \sin \omega t$, si deduce che con un filtro passabasso è possibile separare la componente di frequenza f , pur ammettendo una piccola distorsione complessiva, e salvo restando la condizione $1/T \geq 2f_{\max}$.

L'esame dello spettro degli impulsi modulati in posizione ci dice che la componente di frequenza f è sempre di piccolissima ampiezza (proporzionale ad x), e dipende dalla frequenza stessa.

Perciò non è possibile passare direttamente alla demodulazione con un filtro; prima è necessario trasformare gli impulsi modulati in posizione in impulsi modulati in ampiezza od in durata.

Questa circostanza mette subito in evidenza che la modulazione di posizione implica apparecchiature più complesse; è peraltro la più usata in quanto presenta altri vantaggi, alcuni dei quali saranno accennati in seguito.

Si noti intanto che la modulazione di ampiezza risente delle distorsioni di non linearità dei tubi perchè l'ampiezza degli impulsi è variabile; la modulazione di durata è quella di posizione non ne risentono.

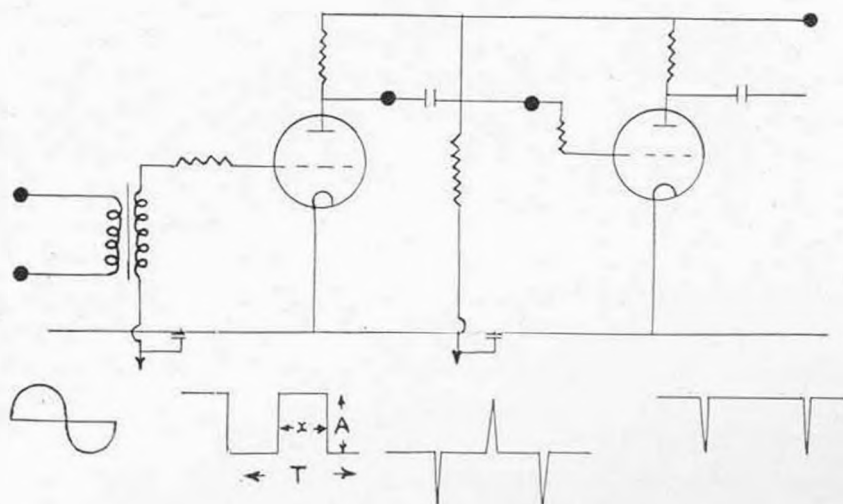


Fig. 2.

Se si esaminano i tre tipi di modulazione, a parità di altre condizioni, nei riguardi del rapporto segnale-disturbo, indicando quello che si presenta nelle comunicazioni con impulsi modulati in ampiezza uguale ad 1, nelle comunicazioni con impulsi modulati in durata tale rapporto è 12, ed in quelle con impulsi modulati in posizione è 240. Sotto questo punto di vista è evidente il vantaggio del sistema con impulsi modulati in posizione rispetto ai precedenti.

La trasmissione delle varie ordinate della funzione modulante avviene « in codice », individuando ogni impulso completo con un certo numero di impulsi, ad es. 5, chiamati impulsi parziali, ciascuno dei quali abbia un diverso peso nel determinare alla ricezione l'ampiezza del segnale utile.

Della tecnica della trasmissione « in codice », tecnica che ha avuto notevolissime applicazioni, si ricorda solo la realizzazione di speciali tubi elettro-nici a deflessione che trasformano direttamente i vari segnali nel codice prestabilito.

Un vantaggio fondamentale del sistema di comunicazioni multiple ad impulsi modulati, rispetto a quello a frequenze vettrici, consiste nell'assenza di diafonia.

Infatti le comunicazioni non sono trasmesse contemporaneamente, ma sono intervallate nel tempo.

Esaminati i principi generali sui quali si basa la tecnica delle comunicazioni multiple ad impulsi, si passa ora a descrivere alcuni criteri di realizzazione pratica.

Un generatore di impulsi si può ottenere applicando una tensione sinusoidale di frequenza uguale alla cadenza degli impulsi, al circuito di griglia (fig. 2) di un tubo elettronico polarizzato all'interdizione.

Ai capi della resistenza anodica si otterrà una forma d'onda pressoché rettangolare.

Applicando quest'ultima ad una rete derivatrice (1), si ottengono segnali a forma di impulsi alternativamente positivi e negativi.

Se questi sono applicati ad un tubo in condizione di funzionamento analogo al precedente si ottengono, con buona approssimazione, impulsi rettangolari. Un trasmettitore ad impulsi avrà tanti generatori di questo tipo quante sono le comunicazioni che si devono effettuare, ed in più il generatore degli impulsi di sincronizzazione, che ha il compito di mantenere il sincronismo fra ricevitore e trasmettitore.

I generatori debbono essere pilotati in modo da creare impulsi opportunamente sfasati fra loro. L'operazione, chiamata « messa in posizione degli impulsi », è, utilizzando generatori del tipo descritto, molto semplice, in quanto la tensione sinusoidale di alimentazione di tutti i generatori di impulsi può essere ottenuta da un'unica sorgente base, tramite reti sfasatrici opportunamente regolate.

Ottenuta così la serie di impulsi, si deve procedere alla loro modulazione, realizzata mediante reti elettriche complesse, a seconda del tipo di modulazione adottato.

(1) Nella figura sono indicati due tipi fondamentali di circuiti derivatori

Nel primo caso, posto $R > \omega L$ si ha: $i = \frac{V_1}{R}$

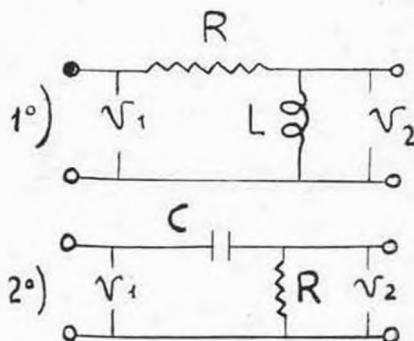
$$v_2 = L \frac{di}{dt} = \frac{L}{R} \frac{dv_1}{dt} = K_1 \frac{dv_1}{dt},$$

Nel secondo caso, posto $R < \frac{1}{\omega C}$,

si ha:

$$i = C \frac{dv_1}{dt}; \quad v_2 = Ri + RC \frac{dv_1}{dt} \approx K_2 \frac{dv_1}{dt}$$

I circuiti duali corrispondenti sono circuiti integratori.



Si accennerà che per ottenere la modulazione in posizione, uno dei metodi più semplici è quello di modulare preventivamente gli impulsi in durata, inviando ad una rete derivatrice, e quindi utilizzare l'impulso che definisce la posizione del fronte mobile (fig. 3).

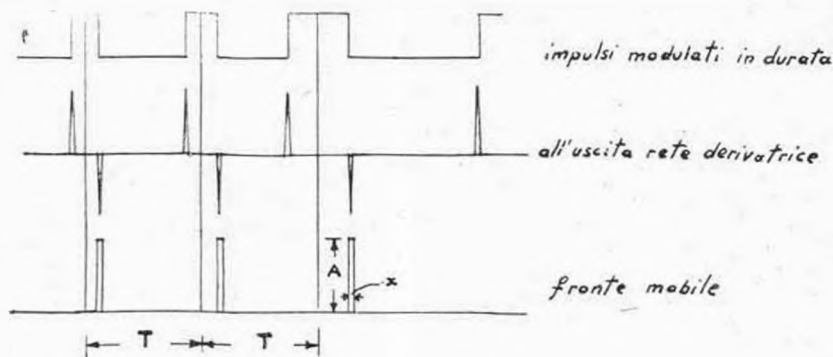


Fig. 3.

Nel ricevitore a impulsi, dopo una normale amplificazione, seguita da una prima demodulazione del segnale a radio-frequenza che consenta di ottenere il segnale complesso formato dall'insieme degli impulsi modulati dei vari canali e di quelli di sincronizzazione, si debbono risolvere due problemi:

- 1) La separazione delle diverse successioni di impulsi, realizzata da un selettore.
- 2) Una seconda demodulazione, per ricavare dalle successioni di impulsi la funzione modulante.

Il ricevitore avrà pertanto un selettore a diverse vie, col compito di provvedere alla separazione delle diverse serie di impulsi che arrivano mescolati fra loro, corrispondentemente ad ogni comunicazione, e tanti rivelatori di impulsi modulati, costituiti da appositi filtri quante sono le comunicazioni da ricevere.

CONCLUSIONE

Si fa notare, a conclusione dei precedenti cenni sui moderni sistemi di comunicazioni multiple, che solo l'intimo connubio fra le scienze fisico-matematiche e la tecnica ha permesso di raggiungere le attuali realizzazioni.

Riguardo al problema economico si fa presente che, nei casi in cui la costruzione della linea incida molto sul costo totale, come nel caso di comunicazioni a grande distanza, sono più convenienti i sistemi di comunicazioni multiple.

Nel campo militare è possibile attuare comunicazioni multiple, oltre che per collegamenti strategici e logistici, anche per collegamenti nell'ambito tattico, in sostituzione ed in perfezionamento degli attuali sistemi. Apparecchiature campali hanno già subito il collaudo dell'ultima guerra, dando risultati soddisfacenti; perfezionamenti sono in studio presso tutti gli eserciti.

Si fa notare inoltre che la tecnica delle altissime frequenze e la tecnica degli impulsi hanno altissimo interesse militare oltre che per le comunicazioni, anche per le applicazioni al radar ed al radiocomando.

BIBLIOGRAFIA

SOLERI, *Comunicazioni Elettriche*. Torino.

SIRTI, *Telecomunicazioni con cavi coassiali*. Milano.

DILDA, *Elettronica*. Torino.

IENGH, *Relazioni sulle riunioni interne 1949-1950*. Torino.

BRONZI, *Tecnica dei radiotrasmettitori*. Bologna.

RECENTI PROGRESSI NEL CAMPO DELLE COSTRUZIONI STRADALI

Ten. del genio Giulio Malvani

PREMESSA

Il recente conflitto con tutte le sue necessità, il sempre maggior sviluppo delle industrie, dei commerci, dei mezzi di comunicazione, non ha mancato di lasciare profonda traccia nel campo delle costruzioni stradali; non è privo di interesse, forse, passare rapidamente in rassegna le principali innovazioni verificatesi in tale campo in conseguenza dei fattori sopra esposti. Tratteremo separatamente i seguenti argomenti:

- i problemi del traffico;
- le pavimentazioni;
- le opere d'arte;
- le attrezzature per i cantieri dei movimenti di terra;
- la teoria.

I PROBLEMI DEL TRAFFICO.

I problemi del traffico, dalla cui risoluzione dipende poi lo studio geometrico della strada, hanno cominciato a farsi sentire in tutta la loro impo-
nenza solamente pochi anni prima del recente conflitto. I primi ad avvertirli sono stati gli S.U.A., in conseguenza del grande sviluppo assunto dalla circolazione automobilistica. A poco per volta, poi, tali problemi hanno incominciato a estendersi ad altri Stati; attualmente, cominciano a proporsi anche ai nostri ingegneri.

Scopo di detti studi, per i quali in America sono sorti anche appositi « Istituti di ingegneria del traffico », è di trovare le migliori e più razionali soluzioni dei problemi dello smaltimento del traffico, della larghezza delle vie, dei minimi raggi di curva da adottarsi, della distanza di visibilità, dei problemi dell'incrocio e del sorpasso, della pendenza, ecc..

Se tali problemi non sono nuovi per gli ingegneri stradali, nuovi sono però i metodi adottati per risolverli: si tende infatti, finchè è possibile, ad

abbandonare i classici metodi analitici (troppo poco rigorosi, a causa delle loro ipotesi semplificative e della difficoltà che essi hanno di tener giustamente conto del fattore « uomo che guida il veicolo ») e ad adottare invece, su larga scala, i metodi sperimentali e statistici.

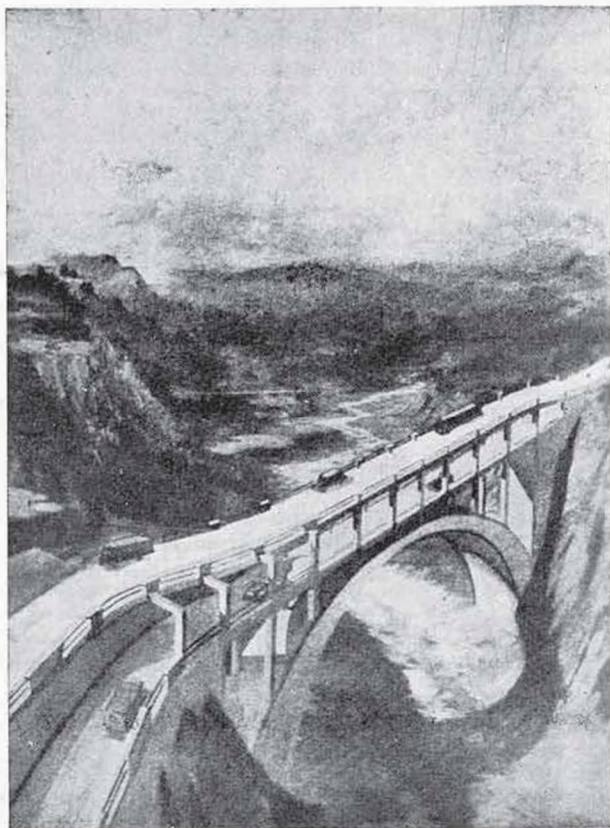


Fig. 1 - Esempio di strada a carreggiate separate.

E' impossibile, senza uscire dai limiti imposti dallo scopo di questa breve nota, riportare di seguito tutti i risultati conseguiti negli S.U.A. con tali studi; tuttavia, per non citare che i principali, ricorderemo:

- la larghezza più opportuna da adottarsi per ogni pista di traffico è di m 3,60;
- la capacità di smaltimento del traffico, per $v = 65$ Km/h e piste larghe m 3,60, può valutarsi di $900 \div 1500 \div 2000$ automobili di turismo per ora, a seconda che la strada sia a $2 \div 3 \div 4$ piste;

- è opportuno progettare le strade principali per una velocità $v = 80$ Km/h; solamente per strade molto importanti conviene adottare $v = 90 \div 100$ Km/h;
- se si progetta la strada per $v = 80$ Km/h, si devono adottare raggi minimi di curva $R = 200 \div 250$ m; se per $v = 110$ Km/h, $R = 430 \div 575$ m;
- la distanza di visibilità, sulle grandi arterie, deve essere di almeno 450 m;
- nel progettare le grandi arterie è opportuno far sì che esse evitino i piccoli centri abitati ed attraversino invece i grandi (poichè è a questi che è diretta la maggior parte del traffico).

Ricordiamo inoltre l'opportunità di evitare gli incroci a livello e la brillante (e ormai classica) soluzione dell'incrocio a quadrifoglio; degna di nota, per la sua razionalità, economia (di costruzione e di esercizio) e maggior sicurezza, è anche la tendenza attuale di scindere nelle strade i due sensi di traffico, per ognuno dei quali si può così realizzare la pendenza economica (fig. 1).

LE PAVIMENTAZIONI.

Nel campo della tecnica delle pavimentazioni i fatti nuovi più salienti sono i seguenti:

- studio sempre più accurato dei materiali da impiegarsi e ricerca di nuovi prodotti atti ad ottenere risultati più economici o più soddisfacenti;
- tendenza a meccanizzare, per quanto possibile, i cantieri, al fine di ottenere un lavoro più accurato e, nel medesimo tempo, più economico;
- comparsa di tutta una nuova branca di pavimentazioni; le « strade in terra stabilizzata » (dette anche « strade a basso costo »).

Lo studio dei materiali stradali, grazie anche ai progressi di scienze collaterali (chimica, chimico-fisica, ecc.) va sempre più sviluppandosi, tendendo a mettere bene in luce i fattori determinati le varie caratteristiche dei materiali, come queste si modifichino e si comportino sotto le azioni del traffico e del clima, e come sia possibile, eventualmente, correggerle o esaltarle. I requisiti dei vari materiali, le modalità di campionatura e di prova tendono oggi a venire sottratti all'iniziativa dei singoli e ad essere codificati dai vari Stati in apposite tabelle.

In breve, per quanto riguarda tali studi, si può ben asserire che il convincimento attuale è il seguente: « più soldi si spendono in prove, studi, analisi di laboratorio, più si risparmia in cantiere ». Tra i materiali comparsi in questi ultimi tempi, ricorderemo:

- i bitumi flussati o *cut-backs*, bitumi resi fluidi mediante l'aggiunta di appositi solventi volatili. Si usa classificarli in tre gruppi a seconda della loro velocità di presa (« curing »): « *slow-curing* » (S.C.), « *medium curing* » (M.C.), « *rapid curing* » (R.C.). Il loro pregio consiste nell'essere suscettibili di applicazione a freddo: si libera così il cantiere da tutte le soggezioni (maggiori complicazioni e minori probabilità di buona riuscita) derivanti dalla necessità di riscaldare legante e aggregato;
- tutta la vasta gamma di prodotti da aggiungere all'aggregato lapideo (specialmente se di natura silicea) o al legante nero, in vista di migliorarne la reciproca adesività, anche in presenza di acqua o di umidità;
- i « trascinatori d'aria », particolari sostanze le quali, aggiunte agli impasti di cemento, vi provocano la formazione di un gran numero di bollicine d'aria semimicroscopiche, in conseguenza delle quali aumenta la lavorabilità dell'impasto, la resistenza al gelo, e diminuisce il modulo di elasticità. Tali sostanze devono però essere impiegate in piccoli %, al fine di non provocare una nociva caduta delle caratteristiche meccaniche. Tra i « trascinatori d'aria » più usati ricorderemo il Darex A.E.A. e la resina Vinsol;
- la gomma apparsa recentemente quale additivo per i bitumi, capace di agire quale energico insensibilizzante termico; oltre tale vantaggio pare che la gomma migliori anche l'impermeabilità delle miscele bituminose e la loro adesione (si è detto « pare » poichè, negli studi fino ad ora eseguiti, alcuni tipi di gomme hanno dato risultati positivi nel senso sopra accennato, mentre altri non hanno sortito alcun effetto). Il % di gomma da usarsi oscilla mediamente tra il 5 ÷ 10 % del bitume. Impieghi delle gomme in tal senso sono stati fatti, con buoni risultati, in Olanda e nelle Indie Olandesi; applicazioni sperimentali sono state eseguite in alcuni Stati degli U.S.A.

Per quanto concerne la messa in opera delle pavimentazioni, si sono viste comparire sui cantieri macchine sempre più complesse e più grandi, sì che oggi, assai spesso, l'intervento dell'uomo è limitato alla condotta e all'impiego di tali macchine. Conseguenza di questa meccanizzazione sono avanzamenti giornalieri assai maggiori che nei tempi passati, miscele meglio dosate, confezionate e stese, riduzione dei costi e della mano d'opera impiegata. Così, ad esempio, per la confezione del calcestruzzo bituminoso sono comparse centrali capaci di una produzione oraria di 100 ÷ 120 t richiedenti, come personale, 1 direttore di cantiere, 4 capi operai, 13 operai specializzati, 21 manovali; per la messa in opera di tali impasti si prestano egregiamente le spanditrici-finitrici Barber-Greene, capaci di mettere in opera 90 t/h di

conglomerato (il che equivale, supponendo uno spessore della pavimentazione pari a 4 cm, a 10.000 m² al giorno) e richiedenti per il loro funzionamento solamente 2 meccanici e 2 manovali.

La meccanizzazione dei cantieri ha raggiunto perfezionamenti tali, che in alcuni casi si sono visti dei veri treni di macchine, procedenti lungo l'asse della strada: la prima macchina del treno ingoia i materiali necessari per la confezione della pavimentazione, e l'ultima, dopo il suo passaggio, lascia dietro di sé la pavimentazione completamente finita.

Naturalmente, oltre questi perfezionamenti notevolissimi delle macchine dei cantieri, ve ne sono molti altri di minor mole (perfezionamento dei congegni di riscaldamento, di miscelamento, spandimento, ecc.) sui quali non è qui possibile soffermarsi.

Ma il ramo veramente nuovo della tecnica delle pavimentazioni può ben dirsi che sia costituito dalle strade in terra stabilizzata, le quali impiegano la terra come materiale base per la loro costruzione. Esse presentano i seguenti vantaggi:

- facilità (a meno che non ci si trovi in zona di montagna) di approvvigionarsi sul posto del materiale occorrente;
- possibilità di ottenere facilmente, e con l'impiego di pochi uomini, grandi avanzamenti giornalieri (grazie alla possibilità di meccanizzare completamente il cantiere);
- basso costo di costruzione.

Di contro, esse presentano i seguenti inconvenienti:

- non sopportano traffici molto intensi (maggiori cioè di 200 ÷ 300 veicoli al giorno);
- sono alquanto sensibili all'azione deleteria delle acque (sia piovane che risalenti dal sottosuolo) per cui richiedono, di preferenza, climi asciutti e sottofondi ben drenati;
- richiedono oneri mantentivi più elevati degli altri tipi di pavimentazioni.

In conseguenza delle caratteristiche sopra esposte, si comprende perchè tali strade abbiano trovato così grande applicazione nel corso di questa guerra (ricorderemo, ad esempio, le strade costruite dai Tedeschi in Polonia ed in Russia, e dagli alleati in Africa Settentrionale ed in Alaska) e, in tempo di pace, in quei paesi nei quali lo scarso traffico economico esistente non consiglia di andare incontro ad elevate spese di costruzione (caso delle strade della Patagonia, Africa Occidentale francese, Indocina, Australia, ecc.).

Il concetto base su cui riposa la tecnica delle strade in terra stabilizzata è il seguente: migliorare le caratteristiche meccaniche della terra (attrito interno, coesione, compattezza) in guisa da permetterle di sopportare, senza deformarsi plasticamente, le azioni del traffico e del clima.

Tale stabilizzazione può conseguirsi :

- per via meccanica, realizzando una granulometria opportuna, con basso indice dei vuoti e con un opportuno tenore di argilla (con funzione di legante capace di potenziare la coesione); è necessario inoltre costipare assai bene la terra, in guisa da ottenere il massimo addensamento. Le condizioni granulometriche volute, assai raramente si riscontrano nel tipo di terra che si ha sul posto: si deve in tali casi ricorrere al miscelamento di questo terreno con uno o più altri tipi reperibili nelle vicinanze;
- per via chimico-fisica, cercando di rendere stabile l'umidità del terreno con l'impiego di sostanze deliquescenti, agenti come « volano » nei riguardi delle variazioni dell'umidità atmosferica. Di tali sostanze le più impiegate sono il cloruro di calcio ed il cloruro di sodio; in alcune regioni dell'India si è tentato anche l'impiego della melassa. Tale stabilizzazione viene di norma abbinata a quella meccanica;
- per via chimica, aggiungendo alla terra particolari sostanze, ovvero assoggettandola a trattamenti capaci di migliorarne la resistenza e di insensibilizzarla all'azione delle acque. Tale stabilizzazione presenta il vantaggio di essere assai indipendente dalla granulometria (non richiede quindi terre correttive d'apporto) e di dare migliori risultati di quanto consentano i metodi più sopra indicati; di contro, ha l'inconveniente di essere meno economica.

Le sostanze più usate in tali trattamenti sono i leganti idraulici (impiegati con dosi variabili tra il 6 ed il 10 %), i leganti neri (bitumi liquidi impiegati con tenori del 4/8 %), i catrami (in dosi di $0,7 \div 1 \text{ l/m}^2$ e per centimetro di spessore), gli oli bituminosi (in dosi di $2,7 \text{ l/m}^2$ per la prima mano ed $1,4 \text{ l/m}^2$ per le successive), le emulsioni bituminose (in dosi di $5,5 \text{ l/m}^2$ per la prima mano e $3,5 \text{ l/m}^2$ per la seconda), il silicato di soda (dosaggio di circa 1 %). Tra i trattamenti capaci di stabilizzare la terra, mutandone la sua natura chimica o chimico-fisica, ricorderemo quelli termici (cottura in sito della terra a $800^\circ \div 1000^\circ \text{ C}$; applicato soprattutto con argille) e quelli elettrochimici (consistenti nell'immergere nel terreno degli elettrodi e nel farvi passare una corrente). L'ultimo di tali metodi, ideato dai Tedeschi e successivamente sviluppato da Svedesi e Russi, si può però dire che non sia ancora uscito dalla fase di studio di laboratorio.

Le strade in terra stabilizzata, come si è detto, presentano il grandissimo vantaggio di permettere avanzamenti veloci, pur impiegando pochi uomini. A titolo esemplificativo citeremo i seguenti dati, relativi ad un cantiere di stabilizzazione con cemento, capace di fornire avanzamenti di $3000 \div 4000 \text{ m}^2$ al giorno:

- macchine occorrenti: 1 scarificatore, 2 grader a lama, 2 ripper, 2 rulli a piedi di montone, 2 rulli pneumatici, 1 rullo a cilindri lisci;
- personale occorrente: oltre i conduttori delle macchine, si richiedono 20 terrazzieri con 2+3 capisquadra ed 1 tecnico.

Prima di terminare questo paragrafo è opportuno anche accennare come probabilmente siano da prevedersi, per l'avvenire, anche pavimentazioni stradali in c.a. precompresso. Se pur fino ad oggi non se ne è ancora avuta l'applicazione, molte sono però già state le discussioni in proposito. In un campo affine a quello stradale, si è vista recentemente sorgere a Orly (Francia) una pista di aeroporto in c.a. precompresso: i risultati, fino ad ora, sono stati ottimi. Altra novità che vedremo comparire fra poco nel campo delle pavimentazioni cementizie, è quella del « *vacuum concrete* »: ma di tale tecnica, come anche di quella del precompresso, diremo più ampiamente nelle pagine seguenti.

LE OPERE D'ARTE.

Nel campo delle opere d'arte (muri di sostegno e di controripa; attraversamenti; tombini; gallerie) la tecnica attuale cerca di soddisfare al continuo assillo di « spendere meno e costruire meglio » con l'impiego di elementi prefabbricati e con l'applicazione, sempre più su vasta scala, della tecnica del cemento armato precompresso e sottovuoto (o « *vacuum concrete* » o cemento « *sous vide* »).

Cosa sia il c.a. precompresso è ormai noto; i principali motivi che hanno portato alla sua grande diffusione sono i seguenti:

- eliminazione delle fessurazioni nelle strutture, il che porta conseguenze particolarmente favorevoli nei riguardi delle sollecitazioni dinamiche;
- riduzione del peso proprio delle strutture, il che, a parità di capacità portante del terreno di fondazione, permette di realizzare strutture più ardite;
- economia di armatura metallica (grazie alla possibilità di impiegare acciai di alte qualità);
- possibilità di costruire fuori opera i vari elementi della struttura e poi di assiemarli in sito, semplificando così grandemente tutta l'organizzazione del cantiere e riducendo la spesa per casseforme e centinature.

Il precompresso (fig. 2), come si è detto, va trovando applicazioni sempre più ampie, specie nel campo dei ponti; gli Svizzeri l'hanno anche impiegato, sulla linea del Gottardo, per costruire una galleria paravalanghe e per preparare piccoli manufatti, prima realizzati in c.a. ordinario o vibrato; in un

campo affine a quello stradale — il ferroviario — il precompresso pare si stia affermando nella costruzione di traversine ferroviarie, in sostituzione di quelle di legno.

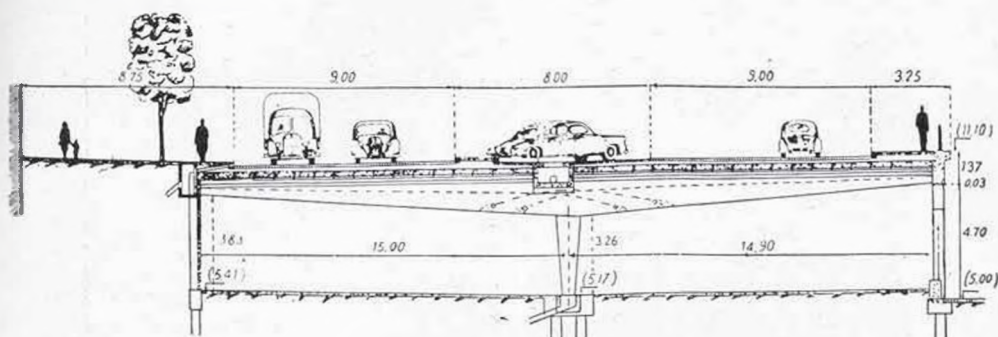


Fig. 2 - Esempio di struttura in c.a. precompresso.

La tecnica del « *vacuum concrete* » è assai più recente di quella del precompresso, ed ha cominciato a diffondersi in Europa da circa un paio d'anni. Essa è sorta come conseguenza dell'impiego di impasti molto fluidi, i quali, se pure hanno il pregio di permettere una facile lavorazione, hanno tuttavia l'inconveniente di avere caratteristiche meccaniche più basse di quelle realizzabili con impasti più asciutti.

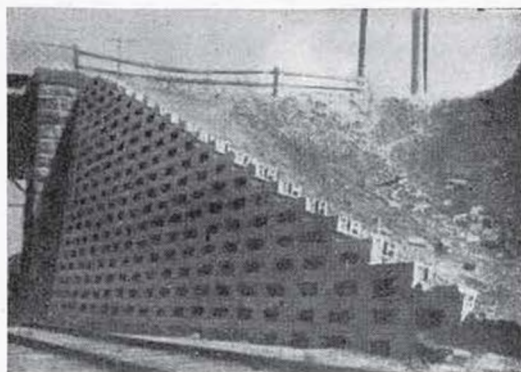


Fig. 3 - Esempio di muro tipo «cribb walls».

Per conciliare i due pregi (facile lavorabilità; elevata resistenza meccanica) conviene effettuare il getto con miscela fluida e togliere quindi, mediante un'aspirazione ottenuta con una pompa a vuoto, l'eccesso di acqua; contemporaneamente all'applicazione del vuoto, il cemento viene vibrato.

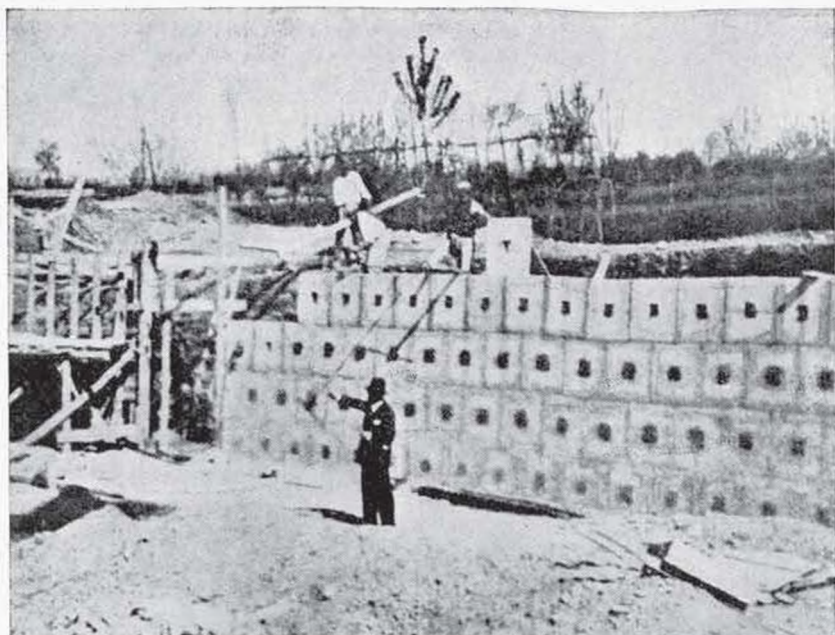


Fig. 4 - Esempio di muro a «plastre».

Per quanto concerne le strutture prefabbricate, ci soffermeremo particolarmente sul problema dei muri di sostegno e di controripa. Le normali strutture monolitiche (di calcestruzzo, di pietrame con malta o a secco), dovendo reagire alla spinta della terra col peso proprio, portano come conseguenza che, a meno non posino su ottimi terreni, non possono spingersi ad altezze troppo elevate; inoltre sono costose, richiedono notevolissime quantità di materiali, obbligano, in conseguenza delle loro ragguardevoli dimensioni, ad elevati lavori di scavo ed esproprio, non permettono di impiegare procedimenti di sottomurazione. Parzialmente privi di tali convenienti, ma comunque comportanti altre gravi limitazioni, sono i muri di c.a., con o senza contrafforti. In conseguenza di quanto detto, assai pratiche ed economiche appaiono le soluzioni di fig. 3 e fig. 4, mostrandoci alcuni tipi di muri di sostegno, o di controripa, così detti «flessibili». La fig. 3 rappresenta un tipo americano, denominato «cribs walls» o muro a gabbia: è costituito da elementi di c.a., a forma di T, ravvicinati fra loro in guisa che le ali dei T formino una gabbia capace di trattenere la terra, ed i gambi si ammarrino nel terreno, oltre la linea di scorrimento, sì da fornire un ancoraggio sufficiente a reagire alla spinta della terra. La fig. 4 rappresenta invece un brevetto italiano: il muro è costituito da una serie di pia-

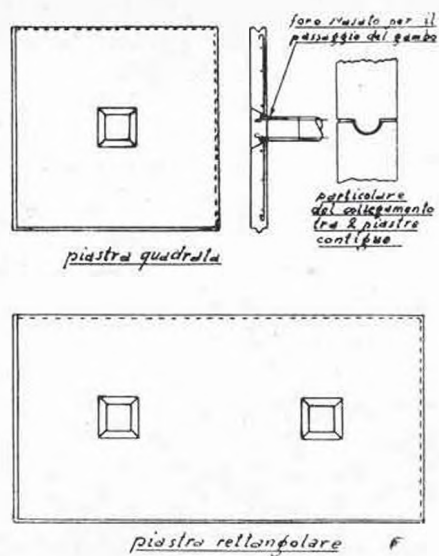


Fig. 5 - Esempio di muro a «piastre».

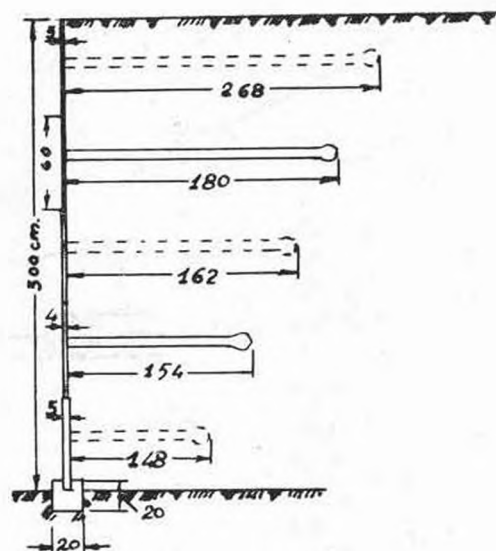


Fig. 6 - Esempio di muro a «piastre».

stre prefabbricate, poste in opera una vicina all'altra e quindi ancorate nell'interno dell'ammasso terroso mediante gambi gettati in opera, previa trivellazione del terreno (fig. 6). La fig. 7 presenta un altro tipo di muro

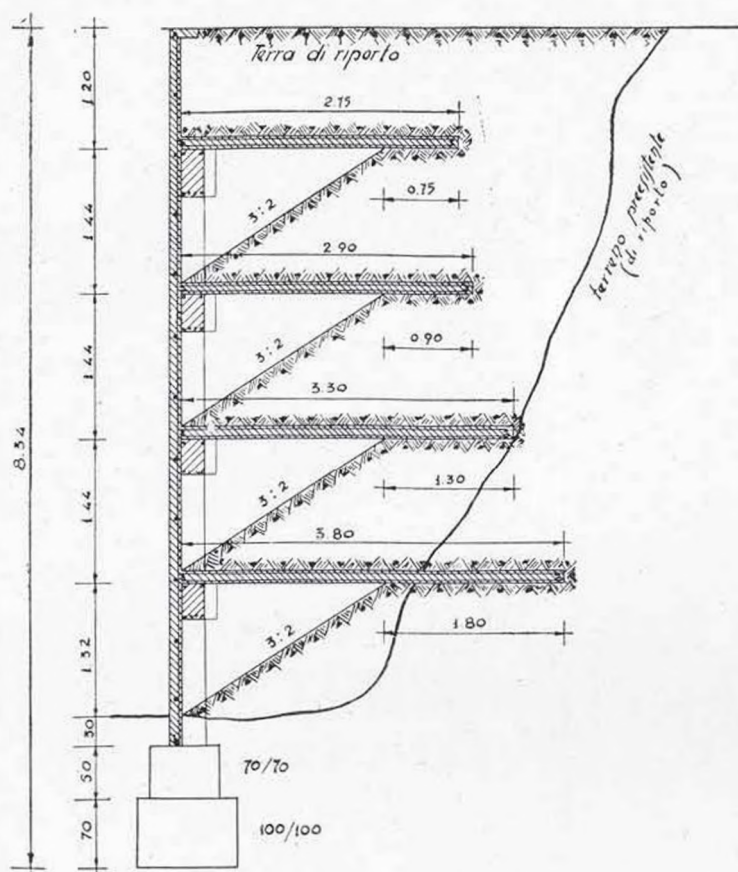


Fig. 7 - Esempio di muro di sostegno con spinta sulla soletta eliminata.

di sostegno nel quale, mediante opportuni artifici, la spinta sulla soletta verticale di c.a. è stata eliminata. Tra i tipi sopra esposti il migliore, sia dal punto di vista tecnico che economico, pare sia quello di fig. 4.

LE ATTREZZATURE PER I CANTIERI DEI MOVIMENTI DI TERRA.

E' indubbiamente questo uno dei campi della tecnica stradale nel quale, in questi ultimi tempi, si sono visti i più poderosi passi in avanti. I carri a cavalli, gli autocarri, le ferrovie decauville, sono ormai quasi completa-

mente scomparso in America, soppiantati da potenti attrezzature meccaniche; dalla fine della guerra tali macchinari hanno cominciato a diffondersi anche da noi. Anima dei cantieri dei movimenti di terra è il trattore, a cingoli o su pneumatici a bassa pressione. Per i lavori di scavo compaiono gli *elevating graders*, le *draglines* a pale meccaniche (con capacità della cucchiara variabile da 0,5 m³ a 5 m³); per i lavori di trasporto le ditte hanno costruito vagoni rimorchio con capacità da 6 a 13,5 m³; per i lavori di scavo e trasporto si impiegano i *bulldozers* e gli *angledozers* sulle piccole distanze (minori cioè di 100 m) ed i *wagon-scraper*s sulle grandi distanze; particolare favore ha incontrato il binomio *tournapull-carryall*: il *tournapull* è un trattore a 2 sole ruote, il cui peso aderente viene aumentato da una aliquota di quello del *carryall*; di impiego più limitato sono invece gli apparecchi raschiatori (*scraping*, *slackline cableway*).

Per frangere le zolle e sminuzzare la terra vi è tutta un'altra categoria di macchine, che va dagli aratri a vomero, a colossali tipi di *ripper*, al *seaman-mixer*.

Per il miscelamento delle terre (operazione che ricorre in particolare nei lavori di stabilizzazione) assai diffuso il *grader* a lama, rimorchiato da un trattore ovvero automotore (nel qual caso prende il nome di *speed-pattrol* o *autopattroll*).

Per quanto concerne il costipamento delle terre vengono impiegate appositi rulli muniti di sporgenze dette piedi di montone (pesanti 1,5 ÷ 4,5 t secondochè siano zavorrati o meno), rulli a pneumatici, rulli a cilindri lisci. Nel caso di sabbie sciolte si preferisce costipare usando pesi cadenti e vibratori (pesanti fino a 1,6 ÷ 2 t) capaci di costipare fino a 200 m² di terreno per ogni ora di lavoro, e su una profondità di 0,8 m.

LA TEORIA.

Notevoli passi in avanti sono stati compiuti anche dalla teoria delle costruzioni stradali, la quale, uscendo dal campo strettamente analitico sul quale si era sviluppata fino all'inizio di questo secolo, tende oggi a risolvere i suoi problemi affrontandoli prima per via sperimentale e cercando poi di ricavare formule teoriche che si adattino ai risultati dell'esperienza.

Per quanto concerne i problemi del traffico, si è già detto.

Nel campo dei materiali stradali, i laboratori per lo studio dei materiali lapidei, leganti neri ed idraulici si sono molto perfezionati; in tali laboratori si studiano non solo le caratteristiche dei vari materiali, ma si cerca anche, mediante esperienze appropriate, di rendersi conto di come tali materiali si comportino sulla strada, sotto le azioni del traffico e del clima (in particolare dell'acqua).

Completamente nuova è la branca della « meccanica delle terre », la quale si propone di studiare il materiale « terra ». Tale scienza, sorta nel 1925, sta assumendo di giorno in giorno sempre maggiore importanza, tentando di togliere all'empirismo tutto quell'importante campo concernente la stabilità delle fondazioni, le strade in terra stabilizzata, la spinta delle terre.

Di tale ultimo argomento (spinta delle terre) ricorderemo il recente studio teorico del Gen. del Genio Romolo Borelli (il quale ha annunciato una teoria che, partendo da semplici considerazioni analitiche, giunge a risultati simili a quelli del Rankine, pur senza avere le limitazioni e le incongruenze fisiche di tale teoria) e quelli sperimentali svolti presso un altro laboratorio italiano, tendenti a determinare la effettiva distribuzione delle pressioni sul paramento interno del muro.

Nel campo del calcolo delle pavimentazioni si tende oggi a valutarne lo spessore in funzione del volume di traffico più che in base al valore del massimo carico transigente.

Anche nel campo della redazione dei progetti si è avuta qualche novità; notevoli varianti, sì da obbligare a uscire dagli schemi classici, hanno portato i progetti di strade a doppia carreggiata.

Tra i progressi realizzati dalle scienze affini a quella stradale, ricorderemo:

- la geologia, che mettendo a punto mezzi elettrici, magnetici, acustici e radio, è riuscita a perfezionarsi e rendere più rapide le sue indagini sulla natura del sottosuolo;
- la fotografia, che ha molto sviluppato e perfezionato i procedimenti di aerofotogrammetria, ricorrendo anche all'impiego degli elicotteri.

CONCLUSIONE.

L'esame fatto dei progressi della tecnica delle costruzioni stradali è stato, indubbiamente, quanto mai sommario. Guardando il futuro, si ritiene però che da esso possano trarsi i seguenti insegnamenti:

- tendenza a meccanizzare tutti i cantieri, con conseguenti vantaggi economici e di bontà dei lavori eseguiti;
- tendenza, finchè possibile, a standardizzare i lavori (vedi impiego di elementi prefabbricati);
- negli studi, appoggiarsi molto alle prove di laboratorio.

